



VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

 **Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport**

**Programa de Doctorado en Ciencias de la Actividad Física y el  
Deporte**

**Departamento de Educación Física y Deportiva**

**INDICADORES DE CARGA DE  
ENTRENAMIENTO INTERNA, FATIGA Y  
ESTADO DE BIENESTAR DURANTE EL  
PERIODO COMPETITIVO EN JUGADORAS  
DE FÚTBOL PROFESIONAL**

Tesis doctoral presentada por:

**Andrés Tudela Desantes**

Para la obtención del Grado de Doctor por la Universitat de València

Valencia, Julio de 2018

Dirigida por:

**Rafael Aranda Malavés, Jose Juan Crespo Hervás y Joaquín González Rodenas**



**Firma del Doctorando:**

**Andrés Tudela Desantes, Junio de 2018**



Dr. D. Rafael Aranda Malavés, professor contractat doctor de la Universitat de València, adscrit al Departament d'Educació Física i Esportiva.

Dr. D. Josep Crespo Hervás, professor ajudant doctor de la Universitat de València, adscrit al Departament d'Educació Física i Esportiva

Dr. D. Joaquín González Ródenas, especialista en entrenament i anàlisi de rendiment del Columbus Crew (USA)

#### CERTIFIQUEN:

Que el present treball titolat “INDICADORES DE CARGA DE ENTRENAMIENTO INTERNA, FATIGA Y ESTADO DE BIENESTAR DURANTE EL PERIODO COMPETITIVO EN JUGADORAS DE FÚTBOL PROFESIONAL”, ha sigut realitzat baix la seua direcció en el Departament d'Educació Física i Esportiva de la Universitat de València per D. Andrés Tudela Desantes, per a optar al grau de Doctor en Ciències de la Activitat Física i l'Esport.

Havent-se conclòs, i reunint al seu judici les condicions de originalitat i rigor científic necessaris, autoritzen la seua presentació per a que puga ser defés davant el tribunal corresponent.

I per a que així conste, expedeixen i firmen la present certificació en València a 28 de juny de 2018

Rafael Aranda Malavés    Josep Crespo Hervás    Joaquín González Ródenas



# Dedicatoria

A María, porque lo eres todo para mí. Te quiero.

A mis hijos, nuestro regalo máspreciado.

A mis padres y mis hermanos, porque formamos el mejor equipo.





# Agradecimientos.

A Rafa, mi Maestro. Por ser el motor de todo, por tu ayuda incansable siempre de forma desinteresada.

A Javi, por tu ayuda durante todo este proceso y por estar conmigo en la batalla.

A Salva, por todo el tiempo que has dedicado y siempre con un “sí” por respuesta.

A Jorge, por tu positividad incluso en los momentos difíciles, porque no aprender a tu lado es imposible.

A todos aquellos con lo que he tenido la oportunidad de trabajar y me han ayudado en este largo camino.



# ÍNDICE

<b>1. Introducción general .....</b>	<b>1</b>
1.2. Principios del entrenamiento generales .....	4
1.2.1. Principio de la supercompensación. ....	5
1.2.2. Principio de la multilateralidad o acción mutua de las características motrices. ....	6
1.2.3. Principio de la continuidad.....	6
1.2.4. Principio del crecimiento paulatino del esfuerzo. ....	7
1.2.5. Principio de la sobrecarga o de umbral. ....	8
1.2.6. Principio de transferencia.....	8
1.2.7. Principio de especificidad. ....	9
1.2.8. Principio de la individualización.....	9
1.2.9. Otros principios del entrenamiento. ....	10
1.3. Demandas fisiológicas en fútbol.....	11
1.4. Carga de entrenamiento en fútbol.....	16
1.4.1. Carga interna. ....	17
1.4.1.1. Frecuencia cardíaca. ....	18
1.4.1.2. Escalas de percepción subjetiva de esfuerzo.....	22
1.4.2. Carga externa. ....	28
1.4.2.1. GPS y sistemas multicámara. ....	29
1.4.2.2. Acelerómetros. ....	30
1.5. Fatiga .....	32
1.5.1. Fases de la fatiga. ....	36
1.5.2. La fatiga en el fútbol. ....	38
1.5.3. Mecanismos de fatiga.....	41
1.5.4. Fatiga mental. ....	44
1.5.5. VFC como indicador de fatiga neurovegetativa.....	47

1.5.6. Fatiga neuromuscular. ....	51
1.5.7. Marcadores de fatiga. ....	53
1.5.7.1. Velocidad de desplazamiento. ....	53
1.5.7.2. Salto vertical. ....	56
1.5.7.3. Tensiomiografía. ....	57
1.5.7.4. Termografía infrarroja. ....	60
1.5.7.5. Marcadores fisiológicos. ....	61
1.5.7.6. Escalas de percepción subjetiva. ....	66
1.6. Recuperación .....	70
1.6.1. Proceso de recuperación. ....	73
1.6.2. Marcadores de recuperación. ....	74
1.6.3. Métodos de recuperación. ....	76
1.7. Adaptaciones .....	77
1.7.1. Adaptaciones cardiorrespiratorias y metabólicas. ....	78
1.7.2. Adaptaciones neuromusculares y hormonales. ....	81
1.8. Planificación de entrenamiento en fútbol .....	84
1.8.1. Periodo preparatorio. ....	85
1.8.2. Periodo competitivo. ....	87
1.9. Objetivos.....	91
<b>2. Metodología.....</b>	<b>93</b>
2.1. Participantes.....	93
2.2. Diseño de la investigación.....	97
2.3. Procedimiento .....	98
2.3.1. Tipos de día de entrenamiento. ....	98
2.3.2. Jugadoras titulares y suplentes. ....	100
2.3.3. Protocolo de toma de datos. ....	101
2.4. Variables de estudio e instrumentos .....	102
2.4.1. Carga de entrenamiento objetiva.....	102

2.4.2. Carga de entrenamiento subjetiva. ....	103
2.4.3. Escala de Percepción de bienestar o fatiga. ....	104
2.4.4. Test de velocidad.....	105
2.5. Tratamiento de datos y análisis estadístico.....	107
<b>3. Resultados y desarrollo argumental .....</b>	<b>109</b>
3.1. Resultados relacionados con la carga de entrenamiento interna .....	109
3.1.1. Volumen de entrenamiento según el día. ....	109
3.1.2. Carga de entrenamiento objetivo según el día. ....	112
3.1.3. Carga de entrenamiento subjetivo según el día.....	115
3.1.4. Carga objetiva de partido y de entrenamiento compensatorio. ....	118
3.1.5. Carga subjetiva de partido y de entrenamiento compensatorio. ....	119
3.1.6. Carga de entrenamiento objetiva en semana con y sin competición. ....	120
3.1.7. Carga de entrenamiento subjetiva en semana con y sin competición. ....	121
3.1.8. Relación entre la carga de entrenamiento objetiva y subjetiva. ....	122
3.2. Resultados relacionados con la fatiga.....	124
3.2.1. Tiempo en test de 10m según el día. ....	124
3.2.2. Percepción de fatiga general según el día. ....	125
3.2.3. Percepción de la calidad del sueño según el día. ....	128
3.2.4. Percepción de daño muscular según el día.....	130
3.2.5. Percepción de estrés según el día. ....	132
3.2.6. Índice de Hooper según el día. ....	134

3.2.7. Variables relacionadas con la fatiga de titulares y suplentes.....	137
3.2.7.1. Tiempo relativo en test de 10 metros. ....	137
3.2.7.2. Variables de percepción de Hooper. ....	138
3.2.8. Relación entre las variables relacionadas con la fatiga. ....	140
3.3. Desarrollo argumental en relación a la carga de entrenamiento interna .....	142
3.3.1. Carga de entrenamiento interna según el día. ....	142
3.3.2. Carga de entrenamiento interna de partido y de entrenamiento compensatorio. ....	146
3.3.3. Carga de entrenamiento interna en semana con y sin competición. ....	149
3.3.4. Relación entre la carga de entrenamiento objetiva y subjetiva. ....	154
3.4. Desarrollo argumental en relación a la fatiga .....	157
3.4.1. Tiempo en test de velocidad según el día.....	160
3.4.2. Percepción de fatiga general según el día. ....	164
3.4.3. Percepción de la calidad del sueño según el día. ....	166
3.4.4. Percepción de daño muscular según el día.....	168
3.4.5. Percepción de estrés según el día. ....	172
3.4.6. Índice de Hooper según el día. ....	173
3.4.7. Variables relacionadas con la fatiga de titulares y suplentes.....	175
3.4.8. Relación entre las variables relacionadas con la fatiga. ....	179
3.5. Aplicaciones prácticas .....	181
3.6. Limitaciones del estudio .....	184
<b>4. Conclusiones .....</b>	<b>185</b>
<b>5. Bibliografía .....</b>	<b>189</b>

<b>6. Anexos .....</b>	<b>249</b>
6.1. Consentimiento informado de la jugadora para la utilización de datos .....	249
6.1.1. Ejemplar para la jugadora. ....	250
6.1.2. Ejemplar para el investigador.....	252





# ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1</i> Ciclo de supercompensación.....	5
<i>Figura 1.2</i> Cuestionario VAS para evaluar la carga de entrenamiento .....	27
<i>Figura 1.3</i> Estado de fatiga del deportista .....	38
<i>Figura 1.4</i> Variación de la FC latido a latido .....	47
<i>Figura 1.5</i> Proceso e instrumental tensiomiográfico .....	58
<i>Figura 1.6</i> Gráfica de la respuesta muscular a un estímulo eléctrico obtenida mediante tensiomiografía.....	59
<i>Figura 1.7</i> Imagen infrarroja de la cara anterior de las rodillas con entesitis rotuliana que afecta a la rodilla derecha .....	60
<i>Figura 1.8</i> Efectos del entrenamiento ante recuperación completa e incompleta .....	70
<i>Figura 1.9</i> Evolución de la curva de recuperación .....	73
<i>Figura 1.10</i> Periodización de entrenamiento semanal .....	89
<i>Figura 1.11</i> Propuesta de microciclo de entrenamiento en fútbol .....	89
<i>Figura 1.12</i> Perfil de la semana de entrenamiento con un partido .....	90
<i>Figura 2.1</i> Temporización de recogida de datos .....	98
<i>Figura 2.2</i> Semana de competición y tipos de día de Entrenamiento .....	99
<i>Figura 2.3</i> Protocolo diario de toma de datos .....	101
<i>Figura 2.4</i> Procedimiento en el tiempo del Test de 10m .....	106
<i>Figura 3.1</i> Volumen de entrenamiento (min.) de los distintos tipos de día .....	111
<i>Figura 3.2</i> Media (SD) del TRIMP (UA) de los distintos tipos de día .....	114

<i>Figura 3.3</i> Carga de entrenamiento subjetivo (UA) de los distintos tipos de día .....	117
<i>Figura 3.4</i> Media (SD) del TRIMP del partido y del entrenamiento compensatorio .....	118
<i>Figura 3.5</i> Carga de entrenamiento subjetivo (RPE) partido y compensatorio .....	119
<i>Figura 3.6</i> Media (SD) del TRIMP de los dos tipos de semana .....	120
<i>Figura 3.7</i> Media (SD) de la carga de entrenamiento subjetiva de los dos tipos de semana .....	121
<i>Figura 3.8</i> Gráfico de dispersión y línea de tendencia del TRIMP de Banister y el Índice de Foster.....	123
<i>Figura 3.9</i> Media (SD) del tiempo empleado en el test de 10 metros .....	125
<i>Figura 3.10</i> Percepción de fatiga general (UA) de los distintos tipos de día .....	127
<i>Figura 3.11</i> Percepción de calidad de sueño (UA) de los distintos tipos de día .....	129
<i>Figura 3.12</i> Percepción de daño muscular (UA) de los distintos tipos de día .....	132
<i>Figura 3.13</i> Percepción de estrés (UA) de los distintos tipos de día ..	133
<i>Figura 3.14</i> Media (SD) del índice de Hooper (UA) de los distintos tipos de día .....	136
<i>Figura 3.15</i> Media del tiempo relativo (SD) en test de 10 m medido el día -4 de los jugadores que jugaron partido y los que compensaron .....	137
<i>Figura 3.16</i> Percepción de fatiga, de daño muscular, de calidad de sueño, de estrés e índice de Hooper el día -4.....	139

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 <i>Zonas de frecuencia cardíaca</i> .....	21
Tabla 1.2 <i>Comparación de las principales adaptaciones al entrenamiento de fuerza y resistencia</i> .....	82
Tabla 2.1 <i>Característica de la muestra</i> .....	93
Tabla 2.2 <i>N en las distintas comparaciones según el día</i> .....	95
Tabla 2.3 <i>N en comparaciones relativas a la carga interna en distintos eventos</i> .....	95
Tabla 2.4 <i>N en la comparación entre jugadoras titulares y suplentes</i> ..	96
Tabla 2.5 <i>N en las distintas correlaciones realizadas</i> .....	96
Tabla 2.6 <i>Escala de percepción subjetiva de esfuerzo</i> .....	103
Tabla 2.7 <i>Escalas subjetivas de Hooper et al.(1995)</i> .....	104
Tabla 3.1 <i>Correlación entre variables relacionadas con la fatiga el día -4</i> .....	140



# ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**ATP:** Adenosina trifosfato.

**CK:** Creatine-Kinase (Creatina quinasa).

**CMJ:** Salto por contramovimiento, (Counter Movement Jump).

**CR10:** Intensidad percibida mediante la escala de 10 niveles.

**CRP:** Proteína c-reactiva.

**DM:** Desplazamiento radial máximo del vientre del músculo.

**DOMS:** Delayed onset muscle Damage, (Daño muscular de aparición tardía).

**ECG:** Electrocardiograma.

**EMG:** Electromiografía.

**FC:** Frecuencia cardíaca.

**FOR:** Functional overreaching, (“overreaching” funcional).

**GPS:** Global positioning system, (Sistema de posicionamiento global).

**HF:** High frequency, (banda de frecuencias altas).

**HID:** High intensity distance, (distancia recorrida a velocidades altas).

**HR:** Heart rate, (frecuencia cardíaca).

**HRV:** Heart rate variability, (variabilidad de frecuencia cardíaca).

**IEP:** Índice de esfuerzo percibido.

**IL-6:** Interleuquina 6.

**IMP:** Inosina monofosfato.

**IQR:** Rango intercuartil.

**IRT:** Infrared termography, (termografía infrarroja).

**LF:** Low frequency, (bandas de frecuencia baja).

**Lmean:** Longitud de la línea media de líneas diagonales en parcela de recurrencia.

**Ln rMSSD:** Logaritmo neperiano de la desviación estándar de la diferencia de la serie RR.

**M:** Media.

**Mdn:** Mediana.

**MMG:** Miografía mecánica.

**MS:** Media semanal.

**NFOR:** Non functional overreaching, (“overreaching” no funcional).

**NH3:** Ion amonio.

**OR:** Overreaching, término sin traducción.

**OT:** Overtraining, sobreentrenamiento.

**pNN50:** Porcentaje de intervalos RR consecutivos que discrepan de más de 50 milisegundos entre sí.

**PC:** Phosphocreatine, Fosfocreatina.

**Post:** Medición realizada después del partido.

**Pre:** Medición realizada antes del partido.

**PSE:** Percepción subjetiva de esfuerzo.

**PSF:** Percepción subjetiva de fatiga.

**REC:** Porcentaje de puntos de recurrencia.

**RMSSD:** Desviación estándar de la diferenciación de la serie RR.

**ROS:** Reactive oxygen species, (especies de oxígeno reactivo).

**RPE:** Rating perceived exertion, (índice de esfuerzo percibido).

**RR:** Intervalos entre las sucesivas ondas R.

**SD:** Standard deviation, (desviación estándar).

**SD2:** Parámetro de dispersión longitudinal.

**SDNN:** Desviación estándar de los intervalos RR.

**SJ:** Squat jump (Salto desde sentadilla).

**SNA:** Sistema nervioso autónomo.

**SNP:** Sistema nervioso parasimpático.

**SNS:** Sistema nervioso simpático.

**STD HR:** Desviación estándar de los valores de FC instantánea.

**TC:** Tiempo de contracción.

**TD:** Tiempo de retardo.

**THIR:** Total high-intensity running distance, (distancia recorrida a velocidades altas).

**TMG:** Tensiomiografía.

**TQR:** Total quality recovery, calidad total de recuperación.

**TR:** Tiempo de relajación.

**TRIMP:** Training impulse, (impulso de entrenamiento).

**TS:** Tiempo de contracción sostenido.

**UA:** unidades arbitrarias

**VAS:** Visual analogue scale, (escala visual analoga).

**Var TOTAL:** Espectral de potencia total.

**VC:** Variabilidad cardíaca.

**VFC:** Variabilidad de frecuencia cardíaca.

**VHID:** Very high intensity distance, (distancia recorrida a velocidades muy altas).





## **1. Introducción general**

Siempre ha preocupado a los profesionales del deporte poder cuantificar y objetivar adecuadamente la carga de entrenamiento que se suministra al deportista así como su individualización, con el fin de proporcionar un correcto equilibrio de dosis/respuesta y descanso que le permita llegar a la competición en el mejor estado posible.

Para obtener el máximo rendimiento de cada deportista, el entrenamiento debería ser prescrito a cada jugador según sus características individuales y su estado personal. Sin embargo, en los deportes de equipo, como en este caso el fútbol, el entrenamiento está condicionado por el colectivo, por lo que existe una mayor dificultad a la hora de individualizar la carga para cada deportista (Impellizzeri, Rampinini y Marcora, 2005).

La complejidad para otorgar al jugador la carga adecuada durante el entrenamiento en deportes de equipo aumenta en el momento en el que la componente táctica se pretende trabajar. Las tareas que se plantean en las que se otorga a cada jugador un rol táctico distinto provoca que la carga suministrada a cada jugador tenga un coeficiente de variación muy alto entre sujetos (Bangsbo, Mohr, Poulsen, Perez-Gomez y Krstrup, 2006b).

Según Hoff, Wisløff, Engen, Kemi, and Helgerud (2002) los futbolistas con mejor estado de forma no reciben el estímulo suficiente para alcanzar mejoras y los jugadores con estados de forma inferiores pueden terminar fatigados, caer lesionados o disminuir el rendimiento

al recibir la carga suministrada al equipo durante el entrenamiento (Impellizzeri et al., 2005).

Por esta razón (Little y Williams, 2007) definen la monitorización del entrenamiento como la pieza clave para el control del proceso del entrenamiento en el deporte, proponiendo una precisa evaluación de la carga como información necesaria para ajustar la periodización del entrenamiento y evitar situaciones de sobreentrenamiento o aquellas en que la carga de entrenamiento no sea suficiente para provocar adaptaciones.

La asignación de cargas incorrectas va a reducir sensiblemente los efectos positivos del entrenamiento. Está reconocidamente aceptado que una alta demanda física en los jugadores de fútbol puede tener consecuencias negativas tales como la disminución del rendimiento o incluso un aumento del riesgo de lesión (Ekstrand, Waldén y Hägglund, 2004)

El fútbol es un deporte de equipo, intermitente y de alta intensidad (Rampinini et al., 2007) en el que la densidad de entrenamientos y partidos es muy alta. Cada semana durante el periodo competitivo cualquier equipo se tiene que recuperar del desgaste de la competición anterior y prepararse para el próximo partido en un periodo de tiempo muy corto siendo esencial conocer el proceso de recuperación de las jugadoras durante el periodo competitivo.

Por esta razón cobra una considerable importancia el control de la recuperación o fatiga, la carga, y cómo esta afecta a cada jugador, ya que debido al reducido margen de tiempo en el que los profesionales

del deporte deben realizar la planificación semanal se puede una delgada línea entre la carga óptima a aplicar y una posible carga incorrecta, ya sea porque el estímulo pueda ser excesivo o insuficiente según el estado individual del jugador.

## **1.2. Principios del entrenamiento generales**

Todo entrenamiento tiene como objetivo final, mediante la asimilación del mismo, el desarrollo de las cualidades del deportista con el objetivo de la mejora del rendimiento.

La mejora de las cualidades tiene un fundamento científico, basado en respuestas fisiológicas, que se manifiestan mediante unos principios que están estrechamente relacionados y que rigen la metodología, planificación, organización y control del entrenamiento.

Antes de comenzar con el proceso de entrenamiento es necesario resaltar que el organismo funciona como un todo (Álvarez, 1992). Todos y cada uno de los sistemas que intervienen en la función locomotora están interrelacionados entre sí de tal forma que si uno fallara, los otros se verían afectados (Sistema circulatorio, respiratorio, endocrino, locomotor...).

Por esta razón, el desarrollo de las distintas cualidades y sistemas no se ha de realizar de forma aislada, sino de forma global, priorizando un sistema o función sobre otro según el requerimiento de especialización.

A continuación se exponen los principios que rigen el entrenamiento con el fin de alcanzar un correcto desarrollo de los sistemas que forman el “todo” del deportista.

### 1.2.1. Principio de la supercompensación.

Todo estímulo que recibe un deportista provoca un estado de fatiga posterior cuya prolongación en el tiempo dependerá de la magnitud del estímulo (Álvarez, 1992).

Con el tiempo, se producirá un proceso de recuperación de la fatiga en el que se irá restableciendo el estado inicial, este proceso será denominado como compensación. Posteriormente a la compensación, mediante la recuperación de la fatiga, se podría producir, siempre y cuando la magnitud de la carga fuera suficiente, un estado de supercompensación, tal y como se puede observar en la Figura 1.1, donde se producirían unas adaptaciones como consecuencia del estímulo provocado y la posterior recuperación de la fatiga (Bompa, 2003).

El proceso de supercompensación se debe considerar como la base del incremento de la eficiencia funcional del deportista. Sin embargo, si el periodo que transcurre entre dos estímulos fuera demasiado largo, la supercompensación desaparecería, involucionando o dando lugar a mejoras inferiores (Aguilar, Calahorro y Moral, 2009).

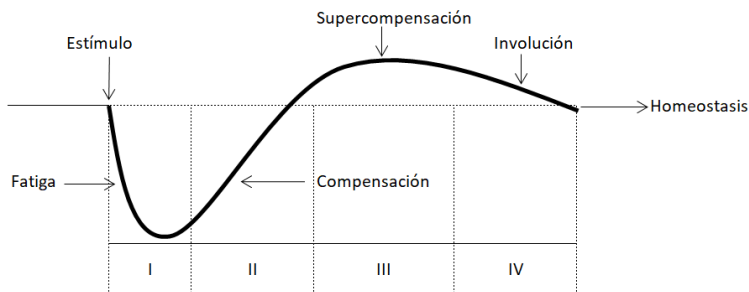


Figura 1.1: Ciclo de supercompensación. Tomada de Bompa (2003)

### **1.2.2. Principio de la multilateralidad o acción mutua de las características motrices.**

En el área social o educativa es comúnmente aceptado que se necesita de un desarrollo general o multilateral como base potenciadora del rendimiento, fundamentalmente en los estadios de iniciación donde se pretendería adquirir unos conocimientos generales necesarios previos a la especialización (Bompa, 2003).

Del mismo modo, en el ámbito del entrenamiento, para conseguir un elevado nivel de especialización es preciso desarrollar una amplia base física multilateral mediante una previa preparación física general. En este sentido, Vorobiev (citado en Álvarez, 1992) afirma que la práctica de la preparación física general influye positivamente sobre la capacidad del organismo y es determinante en el logro de éxitos deportivos.

Esta opción no excluye una especificidad en el entrenamiento que será necesaria en el alto rendimiento, conforme mayor sea el nivel del deportista (Matveyev, 1977).

Estudios experimentales (Harre, citado en Bompa, 2003; Carlson, 1988) confirman que aquellos deportistas que realizaron un entrenamiento general, multilateral y variado obtuvieron mayores éxitos que aquellos deportistas cuyo entrenamiento fue especializado desde el principio.

### **1.2.3. Principio de la continuidad.**

Según los principios de la fisiología del ejercicio todo esfuerzo que se interrumpe por un lapso de tiempo prolongado o no tiene la

continuidad necesaria, no crea el hábito suficiente para generar adaptaciones (Álvarez, 1992).

Según el principio de supercompensación, será necesario que el estímulo de entrenamiento se produzca justo en el momento en el que se ha completado la recuperación y se han llevado a cabo las adaptaciones, como consecuencia de un estímulo previo. Si los estímulos se realizan de forma aislada no se producirá ningún efecto positivo en el proceso de adaptación al entrenamiento (Matveyev, 1977).

Por esta razón, interrupciones prolongadas en el tiempo como causa de lesiones, enfermedades, abandonos..., influirían de manera significativa en el descenso del rendimiento (Aguilar et al., 2009).

#### **1.2.4. Principio del crecimiento paulatino del esfuerzo.**

Todo entrenamiento tiene como objetivo conseguir unas adaptaciones en los deportistas a partir de una correcta asimilación de la carga de entrenamiento. La asimilación de la carga será la idónea siempre y cuando el esfuerzo crezca de forma paulatina en volumen e intensidad de forma coordinada con la capacidad del deportista (García, Navarro y Ruiz, 1996)

En aquellos casos en los que el crecimiento del esfuerzo fuera más acelerado que la asimilación de las cargas, no se producirían las adaptaciones esperadas pudiendo incluso generar un detrimento del rendimiento (Matveyev, 1977).

Es, por tanto, fundamental coordinar el suministro de la carga de entrenamiento con el descanso, para que mediante la supercompensación las adaptaciones generadas permitan cada vez la asimilación de cargas superiores (Álvarez, 1992).

### **1.2.5. Principio de la sobrecarga o de umbral.**

Este principio se basa en la Ley Schultz-Arnold, que indica que cualquier carga de entrenamiento debe situarse entre dos umbrales: uno inferior, por debajo del cual no se produce efecto de entrenamiento alguno, y otro superior, por encima del cual el efecto de entrenamiento es excesivo y puede comprometer la recuperación de la fatiga (Aguilar et al., 2009).

Álvarez (1992) afirma que las modificaciones funcionales provocadas en el organismo por la carga de entrenamiento permiten mejorar el estado del deportista cuando la intensidad es suficiente para provocar una activación del metabolismo energético o plástico de la célula junto con la síntesis de nuevas sustancias.

### **1.2.6. Principio de transferencia.**

Se refiere al efecto, consecuencia o influencia que provoca el entrenamiento de una capacidad motora sobre otra capacidad que puede estar relacionada (Oña, Martínez, Moreno y Ruíz, 1999).

Para Manno (1991) la transferencia sería positiva cuando la realización de un ejercicio influye de manera positiva en otro, neutra cuando la realización de un ejercicio no tiene influencia en otro y negativa o (también denominada interferencia) cuando la realización de un ejercicio influye de forma negativa.



El desarrollo de una cualidad mejorará la posibilidad de realización de otras siempre y cuando la cualidad que se entrene tenga relación con la especialidad que se practica. Por ejemplo, los ejercicios de salto para la mejora de la impulsión podrían mejorar la velocidad de un sujeto, sin embargo, un ejercicio de resistencia nunca mejorará la velocidad (Álvarez, 1992).

#### **1.2.7. Principio de especificidad.**

La especialización y los ejercicios específicos son un elemento clave en la obtención de éxitos al dar lugar a cambios fisiológicos y anatómicos adaptados a las necesidades del deporte (Bompa, 2003).

La carga de entrenamiento será más específica cuánto más se parezca a la actividad de la competición (Blázquez, 1999).

Algunos investigadores (Astrand y Rodahl, 1986; Mathews y Fox, 1976) han demostrado que el cuerpo humano se adapta a la actividad que el sujeto realiza. Esta adaptación no es únicamente fisiológica, también se produce en relación a las características técnicas, tácticas y psicológicas.

#### **1.2.8. Principio de la individualización.**

El principio de individualización se refiere a la necesidad de adaptación del entrenamiento, por parte de los profesionales, en función de las características de los sujetos entrenados (Aguilar et al., 2009).

Álvarez (1992) se refiere al deportista como un todo con características que lo hacen distinto a los demás, desde el punto de

vista antropométrico, desde el punto de vista funcional, motor, psicológico, de adaptación... Esto explica que ante las mismas cargas de entrenamiento, las respuestas de cada deportista pueden ser diferentes.

Gutiérrez, Delgado y Castillo (1997) proponen tener en cuenta a la hora de individualizar el entrenamiento del deportista: la edad o tiempo que lleva entrenando, la capacidad individual de trabajo y de rendimiento, el estado de salud y nivel de entrenamiento, la actividad no deportiva y de recuperación, el somatotipo y tipo nervioso, la constitución física y la personalidad.

### **1.2.9. Otros principios del entrenamiento.**

A lo largo de las últimas décadas, en el área de conocimiento de la planificación del entrenamiento, se han citado otros principios (Aguilar et al., 2009; Álvarez, 1992; Bompa, 2003; García et al., 1996; Matveyev, 1977) que no han sido mencionados en los apartados anteriores como: el “principio de la eficacia”, que se refiere a la relación entre el gasto de energía y su recuperación; el “principio de estimulación voluntaria”, que defiende que la contracción voluntaria al estimular el sistema nervioso, es más específica respecto a la estimulación eléctrica; el “principio de la participación activa”, que sugiere al deportista como protagonista del entrenamiento; el “principio de la variedad”, en referencia a la diversidad de ejercicios como factor potenciador de las adaptaciones o el “principio de la modelación” en relación al entrenamiento como modelo de la competición.

### **1.3. Demandas fisiológicas en fútbol**

Los aspectos fisiológicos en fútbol han sido estudiados de forma minuciosa en hombres (Krustrup et al., 2006; Reilly, 1997), aunque existe una menor cantidad de información en análisis de demandas físicas en mujeres futbolistas (Polman, Walsh, Bloomfield y Nesti, 2004; Shephard, 1999).

Algunos estudios en futbol femenino han analizado la actividad física durante la competición, (Bangsbo, 1993b), la potencia aeróbica máxima (Davis y Brewer, 1992) o la composición corporal (Jensen y Larsson, 1992). Sin embargo, se ha hecho especial hincapié en el estudio de la distancia recorrida, aunque algunos autores creen que es un indicador pobre del rendimiento físico del partido, ya que la mayor parte de la distancia recorrida durante un partido se recorre a bajas intensidades (andando o trotando) algo que no puede ser considerado un indicador de demanda física sustancial (Mohr, Krustrup, y Bangsbo, 2003).

De este modo, (Gabbett y Mulvey, 2008), en su estudio realizado con jugadoras de fútbol profesional, diferencian entre distancias recorridas en función de la intensidad y exponen que la carrera de alta intensidad corresponde al 7.5% del tiempo total de partido, con un 4.8% del tiempo total a altas velocidades y el 2.7% esprintando.

Krustrup, Mohr, Ellingsgaard y Bangsbo (2005) encontraron en su análisis, durante partidos de la Primera División Danesa Femenina, que las jugadoras que más distancia recorrían a altas intensidades eran las que estaban en un mejor estado de forma.

El nivel de juego de los equipos analizados y la demarcación de las jugadoras es determinante a la hora de conocer las distancias recorridas, la potencia aeróbica, la capacidad de esprintar y de realizar esfuerzos repetidos (Davis y Brewer, 1992; Todd, Scott y Chisnall, 2002). De este modo Mohr, Krustup, Andersson, Kirkendal y Bangsbo (2008) averiguaron que las jugadoras de la liga de fútbol femenino de Estados Unidos, reconocida como una de las mejores, recorrían una mayor distancia a altas intensidades que las jugadoras de una liga profesional europea .

Al comparar las distancias recorridas entre el fútbol masculino y femenino no se encuentran grandes diferencias entre los equipos estudiados. Krustup et al. (2005) exponen que mujeres futbolistas recorren una distancia media de 10,3 km; valores que encontramos muy parejos en estudios realizados en fútbol masculino (Bangsbo, 1993b; Bangsbo, Nørregaard y Thorsoe, 1991) afirmando un recorrido medio entre 10 y 13 km por jugador, aunque esta distancia puede variar en función de la posición del jugador y la categoría de la competición (Bangsbo y Mohr, 2005). Sin embargo en distancias recorridas a velocidades altas, solo las futbolistas femeninas que participan en las competiciones de mayor nivel son equiparables a los futbolistas masculinos (Mohr et al., 2008).

Tanto Mohr et al. (2008) como Reilly y Gilbourne (2003) muestran que la distancia recorrida por jugador va a variar en función de la posición que desempeñen: los centrocampistas son los que más distancias recorren, los centrocampistas y delanteros recorren más

distancia a velocidad alta que los defensas, y los delanteros realizan más sprints que los defensas.

Como consecuencia de esta variación de la demanda en función de la posición y debido a que los centrocampistas son los jugadores que más distancia recorren, tienen unos mejores valores de volumen máximo de oxígeno que los defensores y los delanteros (Jensen y Larsson, 1992; Krustup et al., 2005).

Las distancias recorridas por cada jugador en función de la intensidad provoca una mayor alteración en parámetros del organismo como la frecuencia cardíaca. La frecuencia cardíaca media de cualquier jugador durante la competición, tanto en fútbol femenino (Krustup et al., 2005; T. Reilly, 1994) como en fútbol masculino (Bangsbo, 1993b; Bangsbo et al., 1991), se encuentra entre 160-170 pulsaciones por minuto.

El fútbol es un deporte en el que se combinan la vía energética aeróbica y la vía energética anaeróbica. Las fases más críticas de un jugador durante un partido, presentan esfuerzos anaeróbicos que están superpuestos con muchas actividades aeróbicas submáximas (Reilly, 1994). El mismo autor afirma que la energía que proviene de la vía aeróbica es la que más se utiliza a lo largo de un partido, siendo la energía proveniente de la vía anaeróbica imprescindible para cualquier período que se realice a alta intensidad.

Mediante la cuantificación de la frecuencia cardíaca en el partido, se podría establecer el consumo de oxígeno debido a la relación directa entre ambos indicadores. El consumo de oxígeno de los

futbolistas en la competición se sitúa en un rango entre 2,5 a 4,5 l/min, cifra que corresponde con un consumo relativo de entre 70-90% VO<sub>2</sub>max (Esposito et al., 2004).

No obstante, a lo largo de un partido hay una gran cantidad de esfuerzos que provienen de la vía anaeróbica. De este modo Mohr et al. (2003) afirman que en un partido de fútbol profesional se desarrollan alrededor de 250 esfuerzos de alta intensidad. Según Bangsbo, Iaia y Krusturp (2008) , durante un partido de fútbol, un jugador de nivel competitivo alto ejecuta unos 20 sprints que suelen durar menos de 3 segundos. La producción de energía para estos sprints se obtiene principalmente de la descomposición anaeróbica de fosfatos de alta energía y también mediante la producción anaeróbica de lactato en el futbolista.

Gabbett, Wiig y Spencer (2013) hablan de la Resistencia a Esfuerzos Repetidos (Repeated-Sprint Ability, RSA) como la capacidad condicional específica en fútbol ya que la gran mayoría de sprints se realizan de forma sucesiva. En concreto, se realizan de media dos sprints por jugada y con una duración de 2.17+/-0.13s. El total de acciones repetidas de alta intensidad es de 31.2+/-18.7 por partido con una duración media de  $2.94 \pm 0.05$  s (Gabbett et al., 2013).

Estos esfuerzos de alta intensidad, a partir de energía producida sin la presencia de oxígeno, produce una acumulación de lactato en futbolistas que puede llegar hasta 15 mmol/kg aproximadamente a lo largo del partido (Krusturp et al., 2006).

En jugadoras de elite las concentraciones de lactato en sangre son de  $5.1 \pm 0.5$  y  $2.7 \pm 0.4$  mmol.L<sup>-1</sup> (mean  $\pm$ SD) después de la primera y segunda parte del partido, respectivamente (Krustrup, Zebis, Jensen y Mohr, 2010). La disminución de las concentraciones de lactato en sangre en la segunda parte del partido se relaciona con una disminución de la distancia recorrida y la intensidad.

Sin embargo, es importante remarcar que la concentración de lactato sanguíneo depende en gran medida de la actividad que el jugador ha realizado en los minutos previos al análisis y en consecuencia puede no tener en cuenta las demandas globales (Stolen, Chamari, Castagna y Wisløff, 2005). Por lo tanto, aunque sea complicado determinarlo, se requieren futuras investigaciones que corroboren la concentración de lactato, tanto al finalizar el partido, como el valor medio y/o la oscilación que se produce durante la competición.

#### **1.4. Carga de entrenamiento en fútbol**

Según Impellizzeri et al. (2005) la carga de entrenamiento está determinada por el volumen, densidad e intensidad de la suma de estímulos que conforman el entrenamiento.

La carga de entrenamiento también está condicionada por factores como el tipo de ejercicio y su organización, y el grado de afectación en el jugador dependerá en gran medida de sus características individuales (Bangsbo et al., 2006b).

La monitorización de la carga de entrenamiento es un factor fundamental para el control del proceso en el deporte. Una evaluación rigurosa de la carga de entrenamiento es primordial para periodizar y planificar el entrenamiento, especialmente para la prevención del sobreentrenamiento o un entrenamiento insuficiente y para asegurarse que los deportistas están en las condiciones óptimas de cara a la competición (Little y Williams, 2007; Malone et al., 2015).

No obstante, la cuantificación de la carga presenta dificultades para los entrenadores, ya que la recolección, control e interpretación de los resultados requieren de un alto grado de capacitación y el uso de equipamiento sofisticado en la realización de las mediciones (Halsón, 2014).

Las medidas o cuantificaciones de la carga de un deportista se podrían obtener desde dos vertientes diferentes. En primer lugar, desde el punto de vista interno, es decir, evaluando los efectos fisiológicos provocados por la actividad sobre el sujeto, y en segundo lugar midiendo la carga externa, al evaluar el trabajo realizado por el



deportista independientemente de los efectos, considerando generalmente las acciones desde un punto de vista motor, tales como: distancia recorrida, velocidad, aceleraciones, etc. (Foster et al., 2001; Impellizzeri et al., 2006).

En los deportes de equipo, como el fútbol, es particularmente difícil el control de la carga, ya que muchos ejercicios específicos varían considerablemente en el número de jugadores involucrados, así como los roles tácticos específicos que cumple cada uno (Bangsbo et al., 2006b). Además, las respuestas individuales de cada sujeto son diferentes ante una misma carga de trabajo externa (Álvarez, 1992; Manzi et al., 2010).

De ahí, la importancia de utilizar una medida válida de la carga de entrenamiento interna y externa para obtener información y tener la posibilidad monitorizar y manipular el proceso de entrenamiento (Malone et al., 2015).

#### **1.4.1. Carga interna.**

Si se tiene en cuenta el componente biológico durante el ejercicio, el estímulo que provocará la adaptación está determinado por la carga fisiológica relativa, frecuentemente llamada carga de entrenamiento interna (Wallace, Slattery y Coutts, 2014).

En deportes de equipo como el fútbol, la carga interna es comúnmente cuantificada usando los índices de frecuencia cardiaca (Lucía, Hoyos, Pérez y Chicharro, 2000), o las tasas percibidas de esfuerzo (Foster et al., 2001).

Recientemente la integración del uso de la tecnología para monitorizar la carga de entrenamiento interna ha crecido de forma acelerada en fútbol y en otros deportes (Little y Williams, 2007).

Inicialmente, y debido a la falta de medios, los equipos de fútbol estaban limitados al uso de escalas subjetivas para monitorizar la carga interna, en particular el uso de la escala de esfuerzo percibido (RPE) desarrollada inicialmente por Borg, Hassmén, y Lagerström, (1987).

Con la profesionalización del entrenamiento en fútbol y el desarrollo de medios más accesibles, se estableció una herramienta más compleja totalmente objetiva: el uso de la telemetría de la frecuencia cardíaca (FC), la cual permite a los profesionales medir la respuesta cardiovascular durante una sesión de entrenamiento y/o partido (Malone et al., 2015).

A continuación, se desarrollan los medios más utilizados para el control de la carga interna en el proceso de entrenamiento en fútbol.

#### ***1.4.1.1. Frecuencia cardíaca.***

La frecuencia cardíaca (heart rate, HR) ha sido usada como un medio para controlar la intensidad del esfuerzo durante la práctica deportiva ya que muestra una correlación muy alta con los umbrales ventilatorios y metabólicos, tanto en ejercicio continuo (Astrand y Rodahl, 1986) como en esfuerzos intermitentes específicos en fútbol (Drust, Reilly y Cable, 2000).

De este modo, la frecuencia cardíaca permite determinar la principal vía metabólica utilizada para la producción de energía durante la actividad (Polito et al., 2017; Lucía et al., 2001).

Hay distintitos métodos para cuantificar la carga de entrenamiento entre los que destacamos el TRIMP (Training Impulse) en el que mediante una ecuación a partir de la frecuencia cardíaca (intensidad) y la duración del ejercicio (volumen) se establece un valor (ua) representativo de la carga de entrenamiento. El TRIMP ha sido propuesto y modificado por varios autores a lo largo del tiempo. A continuación se presentan los más utilizados.

#### *1.4.1.1.1. TRIMP Banister.*

Uno de los métodos más utilizados para el control de la carga basado en los índices de frecuencia cardíaca es el método TRIMP, instaurado por Banister (1991), que se ha establecido como un método de cuantificación de la carga interna en el fútbol y en otras actividades continuas e intermitentes (Akubat, Patel, Barrett y Abt, 2012; Scott, Lockie, Knight, Clark y de Jonge, 2013a).

El “training impuls” (TRIMP) está comúnmente establecido como un medio útil para evaluar la carga de entrenamiento (Pyne y Martin, citado en Halson, 2014) mediante unidades arbitrarias de esfuerzo físico que se calculan utilizando: la duración del entrenamiento, frecuencia cardíaca máxima, frecuencia cardíaca en reposo y frecuencia cardíaca promedio durante la sesión de ejercicio (Banister, 1991).

El TRIMP de Banister (1991) mide la carga de entrenamiento a través de la siguiente fórmula:

$$TRIMP = Duración (mn) \times (Factor A \times (FC media - FC Reposo) \times \exp(Factor B \times (FC media - FC Reposo))$$

Siendo, para hombres, el Factor A= 0,64 y el Factor B= 1,92; y para mujeres, el Factor A: 0,86 y el Factor B= 1,67.

#### *1.4.1.1.2. TRIMP Morton.*

Morton, Fitz-Clarke y Banister, (1990) modificó el TRIMP introduciendo un factor de ponderación para corregir el sesgo introducido en la carga de entrenamiento TRIMP y para que el resultado fuera más representativo a intensidades altas.

El TRIMP de Morton et al. (1990) mide la carga de entrenamiento a través de la siguiente fórmula:

$$TRIMP = Duración (mn) \times (Factor A \times (FC media - FC Reposo) \times 2.718 \exp(Factor B \times (FC media - FC Reposo))$$

#### *1.4.1.1.3. TRIMP Edwards.*

Otro enfoque es el TRIMP de Edwards, el cual utiliza el tiempo acumulado en cinco zonas de frecuencia cardiaca multiplicadas por un factor de ponderación (Edwards, 1994).

Edwards (1994) en lugar de tratar la frecuencia cardiaca como un rango continuo, lo divide en cinco zonas basadas en el porcentaje de la

frecuencia cardiaca (Tabla 1.1), donde al acabar el entrenamiento se cuantificaría el tiempo total de cada zona:

Tabla 1.1 *Zonas de Frecuencia Cardiaca*

<b>% FC<sub>max</sub></b>	<b>Zona</b>
50-60%	1
60-70%	2
70-80%	3
80-90%	4
90-100%	5

*Notas:* FC<sub>max</sub>=Frecuencia Cardíaca Máxima.  
Tomado de Edwards (1994).

#### *1.4.1.1.4. TRIMP Lucía.*

El modelo TRIMP de Lucia et al. (2000) es similar al propuesto por Edwards (1994); sin embargo, hay tres zonas de frecuencia cardiaca las cuales están basadas en los umbrales de lactato determinados individualmente para cada deportista (Lucía et al., 2000).

#### *1.4.1.1.5. TRIMP Stagno.*

Stagno, Thatcher y Van Someren (2007) con el objetivo de adaptar el instrumento a deportes colectivos, propusieron introducir un factor de ponderación para cada zona originalmente propuestas por Banister (1991).

Esta ponderación refleja el perfil del incremento de la curva de lactato en sangre, de modo que, conforme se incrementa la intensidad del ejercicio la ponderación aumenta exponencialmente.

Los autores establecen 5 zonas tomando como referencia los puntos donde aumenta la concentración de lactato y el punto donde se comienza a acumular.

#### ***1.4.1.2. Escalas de percepción subjetiva de esfuerzo.***

En la actualidad se pueden encontrar numerosa tecnología que aporta información al detalle a los profesionales y que permite tanto el control de la carga interna como externa (monitores de frecuencia cardiaca, GPS, acelerómetros...)

Aunque estas herramientas tienen la capacidad de aportar una gran cantidad de información precisa, tienen algunas limitaciones como el alto coste económico, la necesidad de expertos que interpreten los resultados o el riesgo de la pérdida de datos por errores técnicos. Además de que estos métodos suelen ser muy complejos, ningún autor ha propuesto todavía un método que pueda aportar un valor único para la carga en la sesión de entrenamiento (Haddad, Stylianides, Djaoui, Dellal y Chamari, 2017).

Recientemente el método de cuantificación de la carga, mediante las escalas de percepción del esfuerzo, ha sido objeto de estudio con el objetivo de validar esta técnica por medio de otros métodos objetivos de control de la carga interna y externa (Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi y Marcora, 2004; Alexiou y Coutts, 2008).

El índice de esfuerzo percibido ha sido relacionado con indicadores de carga externa e indicadores de carga interna mostrando correlaciones significativas altas y muy altas en prácticamente todas las disciplinas deportivas (Alexiou y Coutts, 2008; Borresen y

Lambert, 2008; Brandão, Pereira, Oliveira y Matsudo, 1989; Chávez, Orozco, Marchán y González, 2012; Costa et al., 2013; Fanchini, Ghielmetti, Coutts, Schena e Impellizzeri et al. 2015; Gómez-Díaz, Pallarés, Díaz y Bradley, 2013b; Impellizzeri et al., 2004; Scott y Lovell, 2018).

Borresen y Lambert (2008) reportaron una correlación muy alta ( $r=0,84$ ) entre RPE y la carga de entrenamiento interna a partir de la frecuencia cardíaca (Trimp de Edwards). Alexiou y Coutts (2008) encontraron una correlación similar ( $r=0,85$ ) en futbolistas mujeres al relacionar los mismos indicadores.

El método basado en esfuerzo percibido parece una solución interesante y se ha propuesto como un método simple, no invasivo y económico para monitorizar la carga de entrenamiento (Impellizzeri et al., 2004).

La Escala de Esfuerzo Percibido desarrollada por Borg (1962) ofrece un método de cuantificación subjetiva de la intensidad del ejercicio, definiendo la intensidad de discomfort o fatiga que se siente en un momento determinado.

El IEP (índice de esfuerzo percibido) ha mostrado tener una buena correlación con la intensidad del esfuerzo objetiva (Jobson, Passfield, Atkinson, Barton, y Scarf, 2009; Scott, Black, Quinn, y Coutts, 2013b).

La Escala de Borg, o escala de esfuerzo percibido es un método subjetivo aceptado en deportes de equipo, para medir la carga interna

(Borresen y Lambert, 2008). Una de las ventajas que obtenemos al utilizar escalas de percepción subjetiva de esfuerzo (Borg, Ljunggren y Ceci, 1985) es la posibilidad de medir, tanto el factor psicológico como el fisiológico de forma simple, proporcionando una información más global del estrés provocado por la carga de entrenamiento (Foster et al., 1995).

De hecho, existen estudios que exponen que la percepción de esfuerzo reportada por los jugadores tras la competición puede estar alterada por el resultado de la misma mostrando valores diferentes tras ganar o perder partidos (Jiménez, Torres-Luque, Fernández-García y Alvero-Cruz, 2015), justificando así la incidencia de la componente psicológica y contexto que vive el deportista como factores que modifican la percepción del esfuerzo.

Consiste en una escala visual estandarizada y validada en español, rápida y fácil de aplicar, que permite evaluar de forma gráfica la percepción subjetiva de la dificultad respiratoria o del esfuerzo físico ejercido. La escala de Borg original está constituida en un rango de 0 a 20 (Borg, 1962). Más tarde se validaron las escalas modificadas de 15 niveles respectivamente.(Brandão et al., 1989; Chávez et al., 2012).

Fueron Foster et al. (2001) quienes modificaron y validaron la escala de percepción subjetiva propuestas hasta la fecha estableciendo 10 niveles de intensidad. Estos autores cambiaron ligeramente los términos utilizando un lenguaje más representativo de la realidad y expusieron la posibilidad tanto de dar un solo número que represente la intensidad de la sesión de entrenamiento, comola de dar varios



valores basados en las fracciones de la sesión de entrenamiento teniendo en cuenta cada uno de los ejercicios.

Esta escala se ha definido como una herramienta útil para evaluar la intensidad del ejercicio mediante una estimación subjetiva de la intensidad percibida por jugadores de fútbol (Moalla et al. 2016; Gaudino et al., 2013). La carga de entrenamiento (expresada en unidades arbitrarias, ua) calculada multiplicando el valor obtenido en la escala por la duración de la sesión en minutos, ha sido definida como práctica, económica y un método válido para cuantificar la carga interna en fútbol (Impellizzeri et al., 2004).

En investigaciones posteriores se hallaron correlaciones significativas entre la carga de entrenamiento medida a partir de la RPE y métodos que miden carga externa como la distancia recorrida o distancias recorridas a velocidades máximas (Costa et al., 2013).

Estudios previos han validado la utilización de este tipo de escalas como método para cuantificar la carga interna, también en entrenamiento de fuerza empleando el porcentaje de una repetición máxima (1RM) como criterio de medida de la intensidad del entrenamiento (Foster et al., 2001; Singh, Foster, Tod y McGuigan, 2007).

A pesar de que este método fue originalmente propuesto para atletas de resistencia, la literatura reciente muestra que este tipo de escalas tiene un alto nivel de correlación con aquellos basados en la cuantificación de lactato y el VO<sub>2</sub>max (Chen, Fan y Moe, 2002); y de la frecuencia cardíaca en deportes de equipo (Foster et al., 2001;

Scott et al., 2013b) y particularmente en jugadores de fútbol (Alexiou y Coutts, 2008; Arcos et al., 2014; Impellizzeri et al., 2004).

Impellizzeri et al. (2004) monitorizaron un total de 479 sesiones de entrenamiento en fútbol y concluyeron que el IEP (RPE) es un indicador válido de control de la carga de entrenamiento interna, basada en correlaciones con la FC.

Estos hallazgos científicos permiten tomar el IEP como un método válido para la cuantificación del entrenamiento en deportes como el fútbol, permitiendo a entrenadores y preparadores físicos cuantificar la carga de trabajo a la que se ha sometido el jugador sin tener que realizar complejos y costosos análisis, siendo de gran utilidad en los equipos o grupos de trabajo donde se carece de presupuesto o medios materiales necesarios para motorizar las variables que definen de forma directa y objetiva la carga interna o externa del jugador (Fanchini et al., 2015; Gómez-Díaz et al., 2013b).

Otro instrumento, frecuentemente utilizado es la Escala Analógica Visual (VAS) considerada una herramienta alternativa para monitorizar la carga de entrenamiento (Figura 1.2). Estas escalas se presentan en un instrumento gráfico y proporcionan, en lugar de un resultado numérico, una variable de resultado continuo (Gould, Kelly, Goldstone y Gammon, 2001), que tras convertirse a valores, permiten ser utilizados con fines de investigación o para el entrenamiento.

The diagram shows two identical Visual Analog Scale (VAS) items. Each item consists of a horizontal line with vertical tick marks at each end. The first item asks, 'How do you classify the effort made during the training session or match today?' with 'No effort at all' at the left end and 'Maximal effort' at the right end. The second item asks, 'How physically demanding did you perceive the training session or match today?' with 'Not demanding at all' at the left end and 'Maximally demanding' at the right end.

*Figura 1.2* Cuestionario VAS para evaluar la carga de entrenamiento. Tomado de Rebelo et al. (2012).

Costa et al. (2013) son algunos de los autores que proponen la escala VAS mostrando dos preguntas en las que se responde mediante dos líneas horizontales de 10 cm donde cada nivel está representado por una separación de 1 cm.

La carga total se obtiene multiplicando el valor obtenido en estas líneas por el volumen de entrenamiento en minutos. Este instrumento presentó correlaciones altas con algunos métodos para la medición de la carga de entrenamiento a partir de la frecuencia cardíaca (Rebelo et al., 2012).

Este instrumento ha sido utilizado en múltiples investigaciones, tanto en los deportistas amateur (Bangsbo et al., 2010; Grant et al., 1999) como en futbolistas de élite (Andersson, Ekblom y Krustrup, 2008a) mostrando validez y aplicabilidad en cada uno de los ensayos.

Esta evaluación sistemática de la carga interna se considera como una fuente de información útil para orientar el proceso de entrenamiento (Manzi et al., 2010). Se encontró una fuerte correlación

( $R = 0,99$ ;  $p < 0,05$ ) entre la escala VAS y la escala de Borg (CR10) en ejercicios con cicloergómetro para extremidades superiores (Capodaglio, 2001).

Por esta razón los cuestionarios de la VAS podrían ser un método simple para recopilar rutinariamente casos cualitativos-cuantitativos para la monitorización de la carga de entrenamiento, pudiendo concluir que la escala VAS ha mostrado buena reproducibilidad y sensibilidad en evaluaciones subjetivas del esfuerzo percibido durante el ejercicio (Grant et al., 1999).

#### **1.4.2. Carga externa.**

La alteración del organismo como consecuencia de un estímulo está asociada a un volumen e intensidad del entrenamiento que también puede ser cuantificado desde el punto de vista externo (Raposo, 2000).

Matveyev (1964), define la carga externa como aquellas características cuantitativas que pueden ser evaluadas desde el punto de vista motor por indicadores externos como la duración, número de sesiones, velocidad de ejecución, ritmo, etc.

Según Akenhead, Harley y Tweddle (2016), los profesionales cuantifican habitualmente la frecuencia, el volumen y la densidad de la carga de entrenamiento externa mediante parámetros como la distancia total recorrida, aceleraciones o el número de sprints realizados para proporcionar una información objetiva y comprensiva sobre el entrenamiento en fútbol. (Bush, Barnes, Archer, Hogg y Bradley, 2015).

Wehbe, Hartwig y Duncan (2014) añade que el análisis suele llevarse a cabo mediante el uso de sistemas como videocámaras o GPS, que permiten registrar los desplazamientos de los deportistas durante un periodo de tiempo determinado.

#### ***1.4.2.1. GPS y sistemas multicámara.***

La aplicación de tecnología proveniente de otras áreas como el sistema de posicionamiento global (GPS) para el análisis de las distancias recorridas ha proporcionado a los profesionales acceso a datos de carga externa de entrenamiento mucho más objetivos y fiables respecto a los medios utilizados anteriormente (Coutts, 2014) aunque la fiabilidad del control de las distancias recorridas mediante el uso del GPS puede disminuir en altas velocidades (Coutts y Duffield, 2010) si no se utilizan instrumentos de última generación con una frecuencia de muestreo elevada.

Otra técnica aplicada en el fútbol actual y que permite a los profesionales controlar la carga externa de forma directa, son los sistemas de posicionamiento o los sistemas multicámara semiautomáticos, que realizan un seguimiento a cada jugador y aportan información detallada de todos sus desplazamientos (Malone et al., 2015) .

El control de las distancias recorridas por los futbolistas aporta información sobre la carga del futbolista. Recientes investigaciones se centran más en el parámetro THIR (Total High Intensity Resistance) entendiendo “las distancias recorridas a velocidades altas” como un indicador que aporta información más útil sobre la carga de

entrenamiento externo (Fessi et al., 2016; Salvo, Gregson, Atkinson, Tordoff y Drust, 2009; Sparks, Coetzee, y Gabbett, 2016).

Otros de los parámetros analizados, tanto en la investigación como en el control de la carga externa en el alto rendimiento, ha sido: la velocidad pico, “sprint distance” ( distancia recorrida a sprint) a más de 25,2 km/h, Very High Intensity Distance (VHID, distancia recorrida a velocidades muy altas ) a más de 19,8 km/h, High Intensity Distance (HID, distancia recorrida a velocidades altas) a más de 14,4 km/h o la distancia total recorrida (Akenhead et al., 2016; Bush et al., 2015).

Se encuentran correlaciones altas entre las distancias recorridas a velocidades altas y un indicador de carga global interna validado en fútbol como el esfuerzo percibido mediante escalas subjetivas (Thorpe et al., 2016). No obstante este parámetro podría tener alguna limitación si se considera de forma aislada al no tener en cuenta el estrés asociado a las frecuentes aceleraciones y deceleraciones que se producen en fútbol (Gaudino et al., 2013).

#### ***1.4.2.2. Acelerómetros.***

El control de las aceleraciones que se producen en un entrenamiento o partido, aporta una información distinta con respecto a otros valores absolutos, ya que provocan una demanda neuromuscular que es imprescindible tener en cuenta (Akenhead et al., 2016). Casamichana y Castellano (2015), creen que el registro de las aceleraciones a partir de los tres ejes de movimientos son una medida

más adecuada para el control de la carga externa que las demandas locomotoras entendidas de forma aislada.

El método para identificar las aceleraciones y las desaceleraciones no es sencillo de contextualizar. En la literatura disponible hay pocos estudios y no existe una norma estandarizada que establezca los criterios mediante los cuales se pueda considerar la existencia de una aceleración o deceleración.

Uno de los estudios, que propone un protocolo, establece que se comienza a contabilizar una aceleración cuando se alcanza  $1\text{m/s}^2$ , para que se considere una aceleración se deben alcanzar un pico de al menos  $2\text{m/s}^2$  y que se tiene que estar al menos con una aceleración de  $2\text{m/s}^2$  durante medio segundo (Dalen, Jørgen, Gertjan, Havard y Ulrik, 2016).

Una de las limitaciones que se puede encontrar en la utilización de acelerómetros es que las aceleraciones medidas mediante estos instrumentos tienen una relación baja con el método de esfuerzo percibido de Borg (Gomez-Piriz, Jiménez-Reyes y Ruiz-Ruiz, 2011). No obstante, encontramos estudios que ratifican la fiabilidad de acelerómetros para medir la carga de alta intensidad en el fútbol australiano (Boyd, Ball y Aughey, 2011) o incluso para cuantificar las colisiones en jugadores de rugby (Gabbett, Jenkins y Abernethy, 2010).

### **1.5. Fatiga**

A pesar de la gran cantidad de estudios llevados a cabo para conocer las manifestaciones y los mecanismos que provocan la fatiga, es un aspecto que todavía se encuentra en vía de descubrimiento debido a las dificultades de su análisis por su naturaleza multifactorial y compleja (Chappell et al., 2005; McLester, 1997).

Se encuentran múltiples definiciones del término fatiga, entendido como un elemento limitante en el proceso de la competición y el entrenamiento.

Rossi y Tirapegui (1999) conciben la fatiga como el conjunto de síntomas como consecuencia de un ejercicio o trabajo prolongado. La fatiga también puede ser entendida como la incapacidad muscular de ejecutar acciones que requieran niveles elevados de fuerza (Green, 1997) y potencia muscular (Cooper, Edwards, Gibson y Stokes, 1988), o la incapacidad para mantener, durante un periodo de tiempo determinado, la intensidad de la acción (Bangsbo, 1997; Davis y Bailey, 1997) desencadenando un notable descenso del rendimiento (Mannion y Dolan, 1996).

Para Nédélec et al. (2012) la fatiga como consecuencia del partido de fútbol es multifactorial y causada por la deshidratación, depleción de glucógeno, daño muscular y fatiga mental.

Como exponen estos autores la fatiga se refiere al estado en el que disminuye el rendimiento de la acción o incluso se imposibilita la realización de la acción como consecuencia de una carga previa elevada.



El concepto se puede entender desde varios puntos de vista: aquel en el que desciende el rendimiento de los esfuerzos a altas intensidades durante los partidos y entrenamientos (Krustrup, Söderlund, Mohr y Bangsbo, 2004; Russell et al., 2016) o aquel otro en el que desciende el rendimiento como consecuencia de un desequilibrio entre carga y recuperación a lo largo del tiempo, pudiendo prolongarse en el tiempo días, semanas, meses o incluso años (Halson, 2014; Meeusen et al., 2013; Mesa, 2013).

Además de las definiciones expuestas sería conveniente subrayar que la fatiga es un proceso funcional transitorio reversible (Barbany, 1990) y se considera un mecanismo de defensa del cuerpo para prevenir la superación de los límites del organismo (Nielsen, Paoli y Overgaard, 2001).

Los mecanismos etiológicos responsables de la fatiga son diversos y se han sugerido múltiples causas como elementos causantes de la fatiga (Gómez-Campos, Cossio-Bolaños, Brousett, Minaya y Hochmuller-Fogaca, 2010).

Desde el punto de vista del origen funcional de la fatiga se establece una división: fatiga central y fatiga periférica (Duarte, Dias y Melo, 2008). El proceso de fatiga cuyos factores metabólicos interactivos afectan a la musculatura sería la fatiga muscular, mientras que el mismo proceso metabólico que afecta al sistema nervioso central se denominará fatiga central (Lehmann, Foster y Keul, 1993; Minett y Duffield, 2014).

Según Gandevia (2001) la fatiga puede ser atribuida a fallos de contracción periférica, a fallos en el envío de información desde la corteza motora (fatiga supraespinal) y/o a alteraciones en el envío de información (fatiga espinal) al inervar la musculatura activa.

La importancia del control de la fatiga es imprescindible para otorgar a los deportistas un correcto equilibrio entre el estrés ocasionado por el entrenamiento/competición y una recuperación suficiente que provocará adaptaciones en el organismo y mejoras en el rendimiento en la competición (Pyne y Martin, citado en Halson, 2014). Un desequilibrio entre estos factores durante largos periodos de tiempo no solo puede provocar una disminución en el rendimiento deportivo sino que pueden inducir a un estado de sobreentrenamiento, lesiones diversas o incluso la aparición de enfermedades (Halsón, 2014; Thorpe et al., 2015).

La monitorización de la carga de entrenamiento y la fatiga provocada proporciona una retroalimentación precisa que va a otorgar a los entrenadores y técnicos la información sobre las respuestas del organismo del deportista ante el entrenamiento. Esta información permitirá adaptar los elementos del entrenamiento como volumen, intensidad y descanso (Halsón, 2014).

Cada estímulo que se proporciona a un deportista genera un desgaste que afecta a los días posteriores. El nivel de fatiga experimentado por un atleta en un momento dado, es poco probable que refleje puramente la carga incurrida de la actividad del día anterior, sino más bien la carga acumulada de los entrenamientos de

los días anteriores. De hecho el ejercicio de alta intensidad y la actividad de tipo excéntrico conduce a aumentos en el dolor muscular que puede estar presente hasta 72 horas después del ejercicio (Fatouros et al., 2010; Ispirlidis et al., 2008).

La carga de entrenamiento a la que se somete el deportista no es el único elemento causante de una posible fatiga. De este modo, la alteración de bienestar o el incremento de la fatiga podría estar alterado, en algunas ocasiones, por variables relacionadas con la planificación como el calendario, horario, día de la semana o estrategias de recuperación (Moalla et al., 2016) y variables más contextuales como el resultado de partido, importancia del próximo partido, posición en la competición, prácticas religiosas (Armstrong y Vanheest, 2012; Nédélec Halson, Abaidia, Ahmaidi y Dupont, 2015; Saw, Main y Gastin, 2016).

Debido a que la asimilación de una carga determinada suele necesitar varios días, se podría conducir a un posible estado de sobreentrenamiento si no se introducen los descansos acordes a los niveles de la carga soportados por los deportistas (Uusitalo, 2001).

El término sobreentrenamiento es definido por Kreider, Fry y O'Toole (1998) como la acumulación de entrenamiento y/o estrés (no proveniente del entrenamiento) que provoca un descenso del rendimiento a largo plazo presentando o sin presentar signos fisiológicos y psicológicos y síntomas de desadaptación, cuyo restablecimiento del estado normal requiere de varias semanas o meses.

### **1.5.1. Fases de la fatiga.**

Se encuentran diversas clasificaciones de la fatiga si se tiene en cuenta el tiempo de aparición. Mesa (2013) propone una clasificación simple y sintetizada diferenciando dos fases: fase de fatiga aguda y fase de fatiga crónica.

La fatiga aguda provoca una disminución del rendimiento que se origina como consecuencia del entrenamiento o la competición. Se considera necesaria con el objetivo de alcanzar una supercompensación y las correspondientes mejoras después de un descanso afinado (Mesa, 2013).

La fatiga crónica puede aparecer con el paso del tiempo, provocando un estado de fatiga permanente que induce a una disminución del rendimiento y que podría desembocar en el síndrome de sobreentrenamiento (Figura 1.3). Suele aparecer como consecuencia de un desequilibrio entre los estímulos de carga aplicados, la capacidad del sujeto para asimilarlos y un insuficiente periodo de descanso en el que la fatiga debería generar unas adaptaciones del organismo hacia el esfuerzo (Davis y Fitts, 1998).

Kreider et al. (1998) hacen una diferenciación entre Overreaching (OR, término sin traducción que se refiere a una mala asimilación por exceso de entrenamiento) y sobreentrenamiento.

El OR lo define como la acumulación de entrenamiento y/o estrés que no tiene porqué provenir del entrenamiento. Provoca un descenso del rendimiento a corto plazo pudiendo presentar signos fisiológicos,

psicológicos y síntomas de desadaptación, cuyo restablecimiento del estado normal requiere de varias semanas o meses.

El sobreentrenamiento lo define como el mismo proceso que el OT, pero se prolonga a lo largo del tiempo.

Meeusen et al. (2013) diferencian 3 estados de fatiga: overreaching funcional (FOR, functional overreaching), overreaching no funcional (NFOR, non functional overreaching) y sobreentrenamiento (OT, overtraining) (Figura 1.3).

Los autores entienden FOR, también denominado overreaching a corto plazo, como el proceso mediante el cual las respuestas fisiológicas compensan el estrés provocado por el entrenamiento. En esta fase se producen unas adaptaciones que pueden prolongarse varios días o incluso semanas.

La segunda fase que presentan es NFOR y se produce cuando la primera fase se alarga en el tiempo produciendo una disminución del rendimiento que se puede prolongar varias semanas o meses. En este estado pueden aparecer alteraciones psicológicas y/o desequilibrios hormonales.

La fase de OT en ocasiones es difícil de diferenciar de la fase NFOR. Consiste en una adaptación negativa prolongada en los mecanismos biológicos, neuroquímicos y hormonales en el tiempo y en un desequilibrio entre el sistema nervioso simpático y parasimpático, que puede prolongarse varios meses o incluso años.

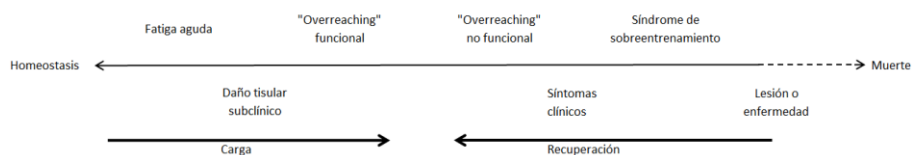


Figura 1.3: Estado de fatiga del deportista. Modificado de Soligard et al. (2016).

### 1.5.2. La fatiga en el fútbol.

El fútbol, catalogado como un deporte de cooperación-oposición de carácter intermitente, está determinado por la alternancia de esfuerzos realizados a diferentes intensidades con periodos de recuperación que varían, siendo necesario desarrollar un buen nivel de condición física para obtener un buen rendimiento deportivo (Castagna, Impellizzeri, Cecchini, Rampinini y Alvarez, 2009; Gómez-Díaz, Bradley, Díaz y Pallarés, 2013a).

El fútbol requiere de múltiples demandas físicas como sprints, cambios de dirección, carreras a velocidades exigentes, saltos, entradas y acciones técnicas como regates, disparos a portería y pases (Nédélec et al., 2012).

La fatiga provoca una disminución en el rendimiento de estas acciones generando un descenso del rendimiento deportivo en los futbolistas (Allen, Lamb y Westerblad, 2008), pudiendo aparecer de forma temporal, después de cortos periodos de esfuerzos intensos en las dos partes del partido, en los últimos minutos del partido o después del partido (Mohr, Krstrup y Bangsbo, 2005).

Además de la fatiga que aparece durante el partido, la competición induce a una fatiga que reduce la eficiencia y un rendimiento

neuromuscular considerable después del partido, pudiéndose prolongar hasta varios días (Rampinini et al, 2011).

Tal y como afirman Andersson et al. (2008b) esta fatiga, traducida en descensos de capacidad de salto, de rendimiento del sprint o fuerza isocinética, se manifiesta de forma similar en futbolistas hombres como en mujeres.

Los agentes desencadenantes de la fatiga durante el partido son múltiples entre los que destacan la deshidratación, el descenso de glucógeno, el daño muscular o la fatiga mental (Nédélec et al., 2012).

El tiempo de fatiga después de esfuerzos máximos como el de la competición es variable dependiendo de la literatura consultada. De este modo, para Andersson et al. (2008b) el tiempo de recuperación del rendimiento en sprints es de 5 horas tras el partido, sin embargo para autores como Ispirlidis et al. (2008) son necesarias 96 horas para recuperar los valores de velocidad previos a la competición.

En el estudio realizado por Rampinini et al. (2011), se midió a 20 jugadores profesionales del fútbol y se observó una reducción de la contracción voluntaria máxima y el rendimiento en velocidad, además de una reducción en la actividad electromiográfica (EMG) y un incremento del dolor muscular en comparación con los datos obtenidos antes del partido. A pesar de la observación de una recuperación parcial 24 horas más tarde, no se volvieron a los valores basales hasta al menos 48 horas después del partido.

Del mismo modo, en la publicación de Andersson et al. (2008b) realizada con jugadoras de élite del fútbol femenino de la liga sueca y Noruega, se analizó la prolongación en el tiempo de fatiga de determinadas variables. El primer parámetro en regresar a la normalidad fue el rendimiento en velocidad (5h), seguido del dolor muscular (69h), mientras que 69 horas después de haberse jugado el partido, el salto por contramovimiento (CMJ) no había alcanzado aún los niveles basales.

En los periodos de congestión competitiva, en los que además de la fatiga generada por la última competición puede aparecer una fatiga acumulada producida por los últimos partidos, un descanso de 72 horas podría ser insuficiente para normalizar el estado de forma del futbolista (Ascensão et al., 2008; Magalhães et al., 2010).

Un jugador profesional puede participar en más de 60 partidos durante el transcurso de la temporada (Gómez-Díaz et al., 2013a) con una reducción del tiempo de recuperación entre los partidos durante los periodos de alta densidad competitiva. En estos periodos es especialmente importante la recuperación después de entrenamientos y partidos para alcanzar un rendimiento óptimo en el momento de la competición.

El fútbol se considera como una actividad de esfuerzos intermitentes, prolongados en el tiempo y que requiere de una alta demanda fisiológica, metabólica y neuromuscular. El conocimiento del proceso de fatiga es incierto, aunque debido a la alteración de la actividad voluntaria y a los patrones de reclutamiento muscular, la



contribución del sistema nervioso central debe de considerarse importante para el proceso de recuperación (Minett y Duffield, 2014).

El hecho de que cada jugador asimile la carga de forma distinta debido a su situación particular (Impellizzeri et al., 2005), provoca que cada deportista pueda manifestar una fatiga distinta en cuanto a intensidad y tipo. Por esta razón se plantea fundamental el proceso de individualizar el entrenamiento y conocer el estado de fatiga de cada jugador con el objetivo de optimizar los estados de forma de los jugadores y del equipo (Zurutuza, Castellano, Echeazarra y Casamichana, 2017).

### **1.5.3. Mecanismos de fatiga.**

El proceso de fatiga provocado por la sucesión de esfuerzos durante el entrenamiento o partido viene inducido por unas alteraciones metabólicas celulares que actúan de factor limitante del rendimiento deportivo.

Una de estas alteraciones considerada de las más importantes, es la provocada por la depleción de glucógeno y fosfocreatina (Polito et al., 2017) en las fibras musculares que genera una posible disminución de distancia recorrida a intensidades altas en el final de los partidos (Mohr et al., 2003). Krstrup et al. (2006) expone que antes de los partidos, los futbolistas tenían prácticamente la totalidad de fibras musculares repletas de glucógeno, encontrando un valor significativamente inferior después de los partidos.

La reducción de pH muscular producida por la combinación de lactato e iones Hidrógeno se ha mostrado como una causa de fatiga

durante el ejercicio intenso (Street, Nielsen, Bangsbo y Juel, 2005, Polito et al., 2017). Sin embargo Krstrup et al. (2006) analizaron el pH medido durante el partido de fútbol y se redujo de forma insignificante sin encontrar asociación con el descenso de rendimiento. En el mismo estudio se encontró una correlación baja no significativa entre el descenso del rendimiento en sprint y la acumulación de lactato. Esto lleva a afirmar a Thorpe y Sunderland (2012) que el lactato y la acidosis muscular no son por si solos causas de la fatiga en un partido de fútbol.

Los niveles de fosfocreatina (PC) pueden contribuir a descensos del rendimiento durante y después del partido de fútbol ya que se encontraron unos niveles muy bajos de PC tras el partido (Bangsbo, 1993a), sin embargo Thorpe et al. (2016) exponen que debido a la rápida re-síntesis (15-30 segundos) de PC en músculo es poco probable que cause una posible fatiga temporal durante el partido.

Krstrup et al. (2006) mostraron que la inosina monofosfato (IMP) en músculo y niveles de  $\text{NH}_3$  en sangre fueron significativamente mayores que antes del partido. También se hallaron reducciones, tan solo moderadas, de concentración de adenosina trifosfato (ATP) después del partido, por esta razón la fuente de energía para la contracción es poco probable que pueda ser la razón de fatiga después de periodos intensos de un partido de fútbol (Hellsten, Richter, Kiens, y Bangsbo, 1999).

Otro causante potencial podría ser la concentración de potasio en sangre, ya que se ha encontrado un aumento de 11 mmol/l después de

la realización de ejercicio muy intenso (Nielsen et al., 2004; Polito et al., 2017). Este nivel de potasio en sangre puede ser lo suficientemente alto como para despolarizar el potencial de la membrana muscular y provocar una reducción en el desarrollo de la fuerza (Cairns y Dulhunty, 1995). Otros agentes que podrían provocar efectos negativos en el mecanismo de contracción celular podría ser la alteración de electrolitos, calcio o una posible hipoxia a nivel celular (Thorpe y Sunderland, 2012).

Polito et al. (2017) añade como posible causa a los agentes ya mencionados la deshidratación que se puede agravar por las condiciones meteorológicas extremas, como por ejemplo las altas temperaturas sufridas durante el partido (Alghannam, 2012).

Los hallazgos expuestos sugieren que aumentos musculares de lactato, acidosis y reducciones de PC y ATP son causas, por sí solas, cuestionables de la fatiga temporal en un partido de fútbol, sin embargo una combinación de todos estos procesos sí que podría ser el origen de una posible fatiga (Thorpe et al., 2015).

Sin embargo, los mecanismos desencadenantes de la fatiga no tienen por qué ser únicamente procesos metabólicos. Todas las acciones que se dan en fútbol requieren contracciones musculares excéntricas y tienen un alto potencial para inducir a daños musculares (Chatzinikolaou et al., 2010). El daño muscular implica una disrupción mecánica de la fibra, daño en la membrana, y desajustes miofibrilares caracterizados por desorganización de los

miofilamentos y pérdida de la integridad del disco Z (Raastad et al., 2010).

Este daño está asociado a procesos inflamatorios y a cambios en el proceso de excitación-contracción de los músculos (Clarkson, Nosaka y Braun, 1992) dando lugar a procesos caracterizados por un descenso temporal de la función muscular, un aumento de proteínas en el espacio intracelular y en sangre, un aumento del dolor o molestias musculares y un aumento del edema de la musculatura implicada (Howatson y Van Someren, 2008).

Existen algunos medios para el control de este daño o fatiga muscular como la evaluación de la máxima contracción voluntaria o marcadores en sangre como la creatina quinasa (CK), la concentración de mioglobina, el dolor muscular, el rango articular o el edema de la zona afectada (Nédélec et al., 2012).

#### **1.5.4. Fatiga mental.**

La fatiga mental es un cambio en el estado psicobiológico causado por periodos prolongados de demanda de actividad cognitiva (Marcora, Staiano y Manning, 2009). Este cambio es gradual y acumulativo y tiene manifestaciones objetivas y subjetivas como por ejemplo resistencia hacia los esfuerzos, cambios de humor o sentimientos de cansancio o falta de energía (Martin, Thompson, Keegan, Ball y Rattray, 2015).

Martin et al. (2015) exponen que la fatiga mental se puede producir al intentar mantener el rendimiento de una o distintas tareas que requieran un esfuerzo mental.

Está establecido que la fatiga mental afecta negativamente al rendimiento cognitivo (Boksem y Tops, 2008), sin embargo, recientemente se han establecido relaciones entre la fatiga mental y el descenso de nivel físico.

En los estudios realizados hasta la fecha se ha revelado que la fatiga mental tiene una relación limitada con la activación voluntaria máxima, la fuerza explosiva y la capacidad anaeróbica (Rozand, Pageaux, Marcora, Papaxanthis y Lepers, 2014; Smith et al., 2016a). En contraposición, se ha demostrado que la fatiga mental perjudica el rendimiento en tareas de resistencia y esfuerzos de larga duración (Marcora et al., 2009; Pageaux, Marcora, y Lepers, 2013).

En esta línea Marcora et al. (2009) hallaron que la fatiga mental estaba relacionada con el tiempo de agotamiento durante el ciclismo a alta intensidad. Pageaux, Lepers, Dietz, y Marcora (2014) encontraron una relación entre el incremento de fatiga mental y el descenso de velocidad media al realizar 5 km en un cicloergómetro.

Respecto al impacto de la fatiga mental en la atención y en las tareas motoras que requieren precisión y concentración, algunos estudios enuncian que afecta de forma negativa (Boksem, Meijman y Lorist, 2005; Duncan, Fowler, George, Joyce y Hankey, 2015). Las causas de esta disminución podrían ser explicadas por la incapacidad de mantener el foco atencional y por la dificultad de utilizar de forma correcta el feedback tras una acción errónea (Boksem et al., 2005; Lorist, Boksem y Ridderinkhof, 2005).

En el fútbol la fatiga mental se ha relacionado con reducciones en la calidad y cantidad de las acciones técnicas conforme avanza el partido (Carling y Dupont, 2011; Rampinini et al., 2008). El motivo de estas reducciones no es unifactorial sino que está provocado por una combinación de la fatiga física y mental inducida por el partido, sin embargo es difícil conocer la incidencia que tiene la fatiga mental de forma aislada ya que sería complejo provocar fatiga mental por separado para conocer el efecto de esta variable sobre el estado del deportista (Smith et al., 2016a).

En este deporte, las demandas cognitivas tienen una alta incidencia y relevancia, ya que se requiere de una gran concentración durante periodos prolongados, con el objetivo de que la toma de decisión sea óptima, basada en la recopilación y procesamiento de información proveniente de un entorno dinámico y cambiante (Smith et al., 2016b). Recientemente, algunos autores han presentado la influencia negativa de la fatiga mental en la percepción y en las habilidades motoras de los futbolistas durante la competición y el entrenamiento (Badin, Smith, Conte y Coutts, 2016; Smith et al., 2016b).

La literatura ha utilizado el cuestionario POMS (Profile of Mood States) para conocer el estado de ánimo de los jugadores de fútbol (Chtourou et al., 2011). El cuestionario POMS fue diseñado por McNair, Lorr y Droplemand (1981) para conocer los cambios en el estado de ánimo en el ámbito psiquiátrico, aunque más tarde se adaptó para ser utilizado en poblaciones no clínicas y en la actualidad se utiliza en el ámbito deportivo (Winnick et al., 2005).

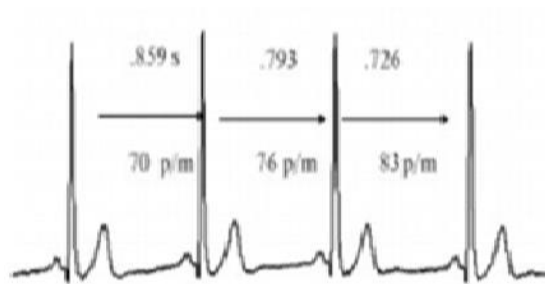
Estudios del ámbito de la psicología en fútbol señalan la importancia de la figura del entrenador como uno de los factores importantes para la consecución del bienestar psicológico de los deportistas (Balaguer, González, Fabra, Castillo, Mercé y Duda, 2012; Castillo, Duda, Álvarez, Mercé y Balaguer, 2011).

### **1.5.5. VFC como indicador de fatiga neurovegetativa.**

La variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC, HRV, heart rate variability) mide la variación entre latidos cardíacos y el tiempo entre cada latido (Alonso et al., 1998).

El objetivo del análisis de la VFC es examinar el ritmo sinusal modulado por el sistema nervioso autónomo (Tarvainen, Niskanen, Lipponen, Ranta-Aho y Karjalainen, 2014).

Según Rodas, Pedret, Ramos y Ortís (2008), la forma primaria de medir la VFC es mediante la realización de un electrocardiograma (ECG), en el que se detecta cada una de las ondas R y se calcula el tiempo o intervalo entre ellas (Intervalo R-R). La variabilidad entre esta serie de intervalos es lo que llamamos VFC (Figura 1.4).



*Figura 1.4:* Variación de la FC latido a latido. Tomada de Rodas et al. (2008)

Los mecanismos nerviosos que regulan el ritmo cardíaco se ven alterados como respuesta al ejercicio provocando rápidos cambios en la frecuencia cardíaca y en la presión sanguínea (Aubert, Seps y Beckers, 2003).

La VFC es el resultado de las interacciones entre el SNA (con su equilibrio simpático-vagal) y el sistema cardiovascular. La actividad del SNA se basa en un equilibrio entre el sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP) (Buchheit, Laursen y Ahmaidi, 2007; Hautala, Kiviniemi y Tulppo, 2009).

El SNP se encarga de realizar una rápida disminución de la FC por impulsos eléctricos vagales de alta frecuencia. Este proceso viene dado por la liberación de acetilcolina por parte del nervio vago. Es el responsable de gestionar los cambios reflejos de la FC debidos a señales procedentes de los barorreceptores arteriales y del sistema respiratorio (Rodas et al., 2008).

Durante los últimos años el estudio de la VFC ha sido utilizada en el ámbito del deporte como un medio no invasivo para conocer el efecto del entrenamiento en el deportista, concretamente en el sistema nervioso autónomo (SNA) y el sistema cardiovascular (Buchheit et al., 2010).

En lo referente a las muestras utilizadas en los estudios sobre VFC, hallamos diversos artículos que exploran en el campo del atletismo (Aubert et al., 2003) en futbolistas (Proietti et al., 2017), triatletas (Prado, Dufek, Navalta, Lough y Mercer, 2017), jugadores de rugby (Nakamura et al., 2017), de voleibol (Mazon et al., 2013), halterófilos



(Chen et al., 2011), tenistas (Thiel et al., 2011), nadadores (Schmitt, Regnard, Auguin y Millet, 2016), ciclistas (Ribeiro, Ribeiro, y Tavares, 2016)...

Mientras en personas enfermas puede aportar información de su pronóstico, patogénesis y estrategias de tratamiento (Besedovsky y del Rey, 1996; Taylor y Keely, 2007), en personas sanas nos puede aportar información acerca de los estados de estrés físico y psíquico.

En el deportista concretamente aporta información de adaptabilidad al entrenamiento, por lo que puede ser una herramienta útil para adaptar el entrenamiento en función del estado de fatiga del deportista (Hedelin, Bjerle y Henriksson-Larsen, 2001; Vesterinen et al., 2013).

En estados de ansiedad, estrés y ejercicio físico predomina la estimulación del SNS (Kleiger, Stein y Bigger, 2005). El SNS aumenta la FC mediante impulsos lentos de baja frecuencia. La respuesta es más lenta que la del SNP (necesita 20-30 latidos para producirse). Este proceso está basado en la liberación de adrenalina y de noradrenalina. El SNS es el responsable de los cambios en la FC debidos al estrés físico y mental (Pumprla, Howorka, Groves, Chester y Nolan, 2002).

Las adaptaciones negativas al entrenamiento están generalmente asociadas a reducciones en los índices de la VFC (Bosquet, Merkari, Arvisais y Aubert, 2008; Hynynen, Uusitalo, Konttinen y Rusko, 2006), mientras que un aumento del estado de forma está relacionado con un aumento en los índices de la VFC (Buchheit, Simpson, Al Haddad, Bourdon y Mendez-Villanueva, 2012; Vesterinen et al.,

2013). Por medio de la monitorización de la VFC, se puede conocer la alteración de Sistema Nervioso Autónomo, y por consiguiente un posible estado de forma o de fatiga (Buchheit, Laursen y Ahmaidi, 2007; Hautala, Kiviniemi y Tulppo, 2009).

Son muchos los parámetros utilizados para el control de la VFC, no obstante LnRMSSD ha sido catalogado como el más práctico, aludiendo diversas ventajas: no se ve alterado por la respiración, puede detectar niveles de actividad parasimpática en cortos periodos de tiempo y puede ser fácilmente calculado a partir de los intervalos R-R. (Plews, Laursen, Kilding y Buchheit, 2012).

En un estudio se analizaron dos grupos de 12 sujetos cada uno (grupo control y grupo con sobreentrenamiento). Los resultados obtenidos fueron la disminución de algunos parámetros de VFC relacionados con la actividad parasimpática (RMSSD y LF) en el grupo sobreentrenado (Hynynen et al., 2006).

Edmonds, Sinclair y Leicht (2013) en un estudio realizado con jugadores de rugby revelan un descenso de la actividad parasimpática desde el tiempo previo a la competición hasta los dos días post partido.

El estudio realizado por Bricout, DeChenaud y Favre-Juvin (2010) en jóvenes futbolistas expone un descenso de la actividad parasimpática en el día posterior a la competición, respecto a los demás días. En la misma línea encontramos resultados en estudios, realizados con árbitros en los días de partido (Boullosa, Abreu, Tuimil y Leicht, 2012).

Los resultados de Gamelin, Berthoin y Bosquet (2006) demuestran un aumento significativo de parámetros relacionados con la actividad parasimpática (rMSSD y HF) en sujetos entrenados correctamente, respecto a los sedentarios y sobreentrenados.

De acuerdo con estos hallazgos, Melanson y Freedson (2001) comprobaron que un periodo de entrenamiento adecuado y bien tolerado de aproximadamente 10-12 semanas, provoca un incremento en los valores de los parámetros pNN50, rMSSD y HF, todos estos relacionados con un incremento de la actividad del SNP.

#### **1.5.6. Fatiga neuromuscular.**

La fatiga neuromuscular se podría definir como el proceso de fatiga cuyos factores metabólicos interactivos afectan a la musculatura (Lehmann, Foster y Keul, 1993; Minett y Duffield, 2014).

La fatiga neuromuscular puede entenderse como un proceso adaptativo y protector que limita la actividad muscular que pueda ser deletérea para el organismo y genere un cambio irreversible a este nivel (Garland y Gossen, 2002).

Arce (2016) diferencia la fatiga neuromuscular de la fatiga periférica, la cual explica las anomalías en la transmisión neuromuscular o de propagación de potencial de acción por el sarcolema o a nivel del acople excitación contracción.

Como afirman Buchheit y Laursen (2013), la respuesta cardiorrespiratoria no es la única variable interesante a la hora de medir la carga interna, puesto que la carga neuromuscular, también

afecta al grado de fatiga, disminuye el rendimiento del deportista, e incluso aumenta el riesgo de padecer lesión. Por lo tanto, se recomienda un control y una especial atención sobre el grado de fatiga neuromuscular (Billat et al., 2001; Buchheit et al., 2012).

24-48 horas después del partido o entrenamiento los deportistas aumentan los valores de dolor o daño muscular dando lugar al fenómeno conocido como DOMS (Delayed onset muscle Damage) o daño muscular de aparición tardía (Cheung, Hume y Maxwell, 2003).

Algunos estudios han pretendido conocer qué grupos musculares son los más afectados por el daño muscular (DOMS) después de la simulación del partido de fútbol, dando como resultado que la musculatura isquiotibial está afectada más por este daño con respecto a los cuádriceps y los flexores plantares (Thompson, Nicholas y Williams, 1999).

La fatiga neuromuscular o periférica, que aparece como resultado de una carga de entrenamiento determinada, depende del tipo, de la duración e intensidad del ejercicio, del tipo de fibra muscular reclutada, del nivel de entrenamiento del sujeto y de las condiciones ambientales en las que se realiza el ejercicio (Bartlett, 1951).

La fatiga inducida por esfuerzos muy cortos ( $<20s$ ), cortos ( $<1min$ ) y/o esfuerzos no máximos ( $\leq \sim 120 \text{ VO}_{2max}$ ), tiende a reflejarse preferentemente como fatiga periférica (Girard, Bishop y Racinais, 2013; Mendez-Villanueva, Edge, Suriano, Hamer y Bishop, 2012), provocada por la alteración de la excitabilidad del músculo, la variación de la concentración de potasio intramuscular y la alteración

de productos metabólicos como el fosfato inorgánico e iones de hidrógeno (Girard, Mendez-Villanueva y Bishop, 2011).

Otros mecanismos implicados en la producción de fatiga neuromuscular consisten en procesos físicos y biológicos como la disminución de fosfocreatina, disminución de glucógeno o aumento de acidez en músculo, cambios en la sensibilidad de los adrenorreceptores, en la función inmunológica y teóricamente, distrofia celular en la musculatura esquelética y el corazón (Mesa, 2013; Uusitalo, 2001).

#### **1.5.7. Marcadores de fatiga.**

Para llevar un estricto control de la fatiga, e impedir que esta afecte al rendimiento de la contracción muscular, se han utilizado distintos métodos para detectarla y cuantificarla.

Algunas de estas herramientas que se tratarán a continuación son: velocidad en desplazamiento lineal, altura de salto vertical, tensiomiografía, termografía, análisis hormonales o escalas de percepción subjetiva.

##### ***1.5.7.1. Velocidad de desplazamiento.***

La capacidad para producir acciones explosivas en fútbol como sprints a máxima velocidad es un indicador de rendimiento importante, en esta línea, se reportaron velocidades mayores en jugadores de fútbol profesional que en jugadores amateur (Stolen et al., 2005).

Pequeñas diferencias podrían ser cruciales en los duelos individuales afectando al porvenir del partido. Una diferencia de 0,05 segundos en un sprint podría decantar el resultado de una acción (Edholm, Krstrup y Randers, 2015).

La prevención del descenso del rendimiento en sprint mediante estrategias de control podría contribuir a alcanzar un buen estado de forma que desembocaría en un mayor rendimiento en el partido (Nagahara, Morin y Koido, 2016).

Para monitorizar la fatiga neuromuscular se ha utilizado el test de velocidad en sprint, con el que se cuantifica la capacidad de hacer esfuerzos explosivos máximos, pudiendo valorar la disminución de rendimiento debido a una posible fatiga.

Tras el partido de fútbol los jugadores experimentan una disminución de la velocidad, respecto a los valores base, medida mediante pruebas de sprint (de 5 a 60 metros), encontrando descensos significativos con un tamaño del efecto moderado después del partido, pequeño entre 24 y 48 horas e incierto tras 72h del partido (Andersson et al., 2010; Edholm et al., 2015; Hughes et al., 2013; Jamurtas et al., 2015; Nédélec et al., 2012; Nédélec et al., 2013; Rampinini et al., 2011; Silva et al., 2013a; Stone et al., 2016).

En la mayoría de las investigaciones expuestas se les somete a los jugadores a una simulación de partido en el que se intenta replicar las condiciones del mismo (Nagahara et al., 2016; Silva et al., 2017).

Debido a la dificultad de realizar un registro sobre jugadores profesionales durante la competición oficial. Estos resultados no serán tan representativos como los de los escasos estudios que evalúan el rendimiento de velocidad tras la competición en jugadores de fútbol (Krustrup et al., 2006; Mohr, Krustrup, Nybo, Nielsen y Bangsbo, 2004).

Los tests de velocidad ofrecen una mayor especificidad en el ámbito del fútbol que los tests de salto, ya que la carrera es la acción más frecuente durante la competición, no obstante durante la misma intervienen factores de coordinación inter e intramusculares y de control motor que podrían enmascarar en cierta medida la fatiga neuromuscular (Buchheit y Laursen, 2013).

El rendimiento en sprints cortos es determinante en acciones que pueden decantar el resultado de partido (Nédélec et al., 2012), de hecho, Nagahara et al. (2016) tratan la aceleración como factor a tener en cuenta.

Por esta razón se han utilizado tests en distancias cortas, en cuya actividad la fuente energética empleada es diferente a las acciones en sprints repetidos y esfuerzos intermitentes (Spencer, Bishop, Dawson y Goodman, 2005)

El descenso en el rendimiento en sprint o en salto podría ser debido a la fatiga de los flexores de rodilla (Rodacki, Fowler y Bennett, 2002) los flexores y extensores de rodilla (Andersson et al, 2008b) o seguramente, tal como afirman Avela y Komi (1998) mecanismos más

complejos como una alteración en el ciclo estiramiento acortamiento de toda la musculatura implicada.

Sin embargo, Greig (2008) y Dorn, Schache y Pandy (2012) afirman que la alteración en la capacidad de sprint, más que por descensos en la contracción concéntrica (flexión y extensión de rodilla), se produce por el descenso de la fuerza excéntrica de la articulación de la rodilla cuya musculatura afectada es la isquiotibial.

Hay una creencia establecida de que la recuperación activa acelera el proceso de recuperación de la homeostasis después del partido de fútbol y de parámetros de rendimiento como la velocidad o el salto (Andersson et al., 2008b; Barnett, 2006).

En cuanto a la vuelta a la calma durante el partido se encontró un efecto positivo en cuanto a la recuperación de la capacidad de sprint, salto y percepción de daño muscular en futbolistas (Reilly y Rigby, 2002).

#### ***1.5.7.2. Salto vertical.***

El rendimiento en salto es un factor determinante del rendimiento en fútbol (Arnason et al., 2004). El salto desde sentadilla (SJ, Squat jump) y el salto con contramovimiento (CMJ, countermovement jump) son los tests de salto más utilizados para conocer el estado del jugador tras el partido por su fácil y rápida aplicación para conocer las capacidades anaeróbicas (Nédélec et al., 2012).

Debido a que el ciclo estiramiento acortamiento interviene en muchas acciones durante el partido, el rendimiento en el salto CMJ



podría ser más apropiado para verificar si un jugador está preparado para tolerar el estímulo del partido (Nédélec et al., 2012).

Nédélec et al (2014) exponen que el análisis de salto medido mediante CMJ y el test de sprint, fueron las variables más sensibles para monitorizar el estado neuromuscular postpartido.

Tras el partido de fútbol los jugadores experimentan un descenso en la capacidad de salto, respecto a los valores base, medida mediante el test SJ y CMJ, encontrando descensos significativos con un tamaño del efecto consistente que permanecía 72 horas después del partido (Andersson et al., 2008b; Edholm et al., 2015; Hughes et al., 2013; Krustrup et al., 2010; Nédélec et al., 2012; Nédélec et al., 2013; Nédélec et al., 2014; Robineau, Jouaux, Lacroix y Babault, 2012; Romagnoli et al., 2016; Silva et al., 2013a; Stone et al., 2016; Thorlund, Aagaard y Madsen., 2009).

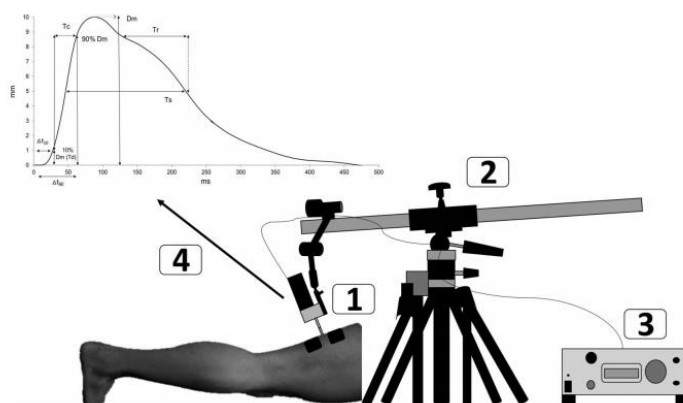
Han sido propuestos otros test de salto además del CMJ y SJ como por ejemplo el test de cinco saltos (Chamari et al., 2008), el test triple hop o el test propuesto por Bosco, Luhtanen y Komi (1983) en el que se evalúa el máximo número de saltos que se pueden realizar en un tiempo determinado.

#### ***1.5.7.3. Tensiomiografía.***

La tensiomiografía es un mecanismo de control de fatiga, que puede clasificarse como un parámetro de miografía mecánica (MMG), que consiste en evaluar en condiciones isométricas, la deformación radial del vientre muscular cuando es activada por un

estímulo eléctrico externo de intensidad controlada (Dahmane, Djordjević y Smerdu, 2006).

Los resultados obtenidos han demostrado ser útiles para evaluar en vivo las propiedades contráctiles del músculo pasivo. La tensiomiografía utiliza un transductor digital de alta precisión (4 mm) colocado perpendicularmente a la superficie muscular (Figura 1.5), capaz de evaluar diferentes parámetros extraídos de la deformación del vientre muscular tras una estimulación neuromuscular percutánea submaxima o máxima (Alentorn-Geli et al., 2015).

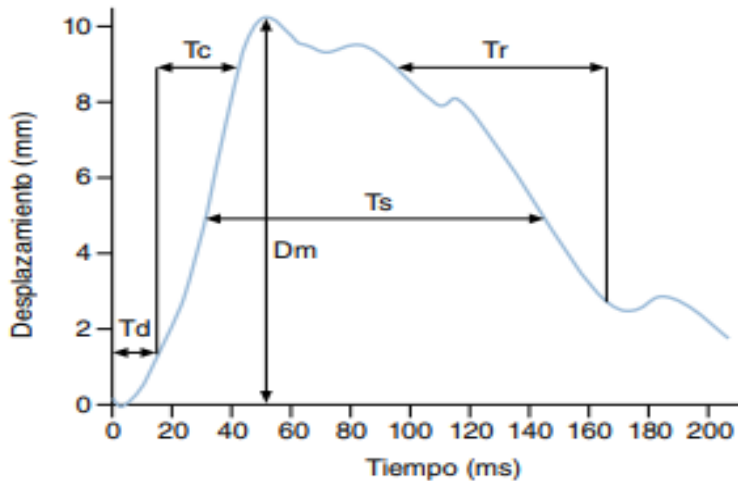


*Figura 1.5* Proceso e instrumental tensiomiográfico. Tomada de Martín-Rodríguez, Loturco, Hunter, Rodríguez-Ruiz y Munguía-Izquierdo (2017).

Los parámetros, expresados en la figura 1.6, que se obtienen a partir de este método y que se utilizan para conocer el estado del deportista son (Martín-Rodríguez et al., 2017):

- desplazamiento radial máximo del vientre del músculo (Dm).
- tiempo de contracción (Tc).

- tiempo de retardo ( $T_d$ ).
- tiempo de relajación ( $T_r$ ).
- tiempo de contracción sostenido ( $T_s$ ).



*Figura 1.6* Gráfica de la respuesta muscular a un estímulo eléctrico obtenida mediante tensiomiografía. Tomada de García-Manso et al. (2010).

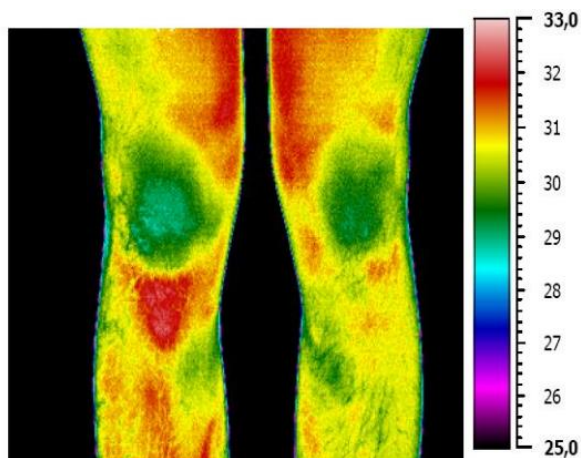
Profundizando sobre los parámetros expuestos, el valor  $D_m$  representa el desplazamiento radial máximo del vientre del músculo expresado en milímetros;  $T_d$  indica el tiempo que tarda el músculo en alcanzar el 10% del desplazamiento total observado después de la estimulación;  $T_c$  es el tiempo transcurrido desde el final de  $T_d$  (10% de  $D_m$ ) hasta que se alcanza el 90% de la deformación máxima. El valor de  $T_s$  representa el tiempo teórico durante el cual se mantiene la contracción y se calcula midiendo el tiempo transcurrido entre el momento en que la deformación inicial alcanza el 50% de su valor máximo y el momento en que la deformación desciende al 50% de

Dm. Finalmente, Tr es el tiempo del 90 % hasta que se produce la relajación del músculo. (García-Manso et al., 2010; Martín-Rodríguez et al., 2017).

Mediante la TMG se podría analizar como la excitabilidad del músculo se puede alterar tras un proceso de fatiga, de forma no invasiva y selectiva, algo que lo hace especialmente apreciado por los profesionales del deporte, que buscan preferentemente métodos de evaluación precisos y prácticos que no perturben sus rutinas profesionales (Alentorn-Geli et al., 2015).

#### ***1.5.7.4. Termografía infrarroja.***

La termografía infrarroja (IRT, Infrared Termography) es una técnica no invasiva, no radiante y de bajo coste, que permite visualizar el calor irradiado de un cuerpo, a través del registro de la emisión infrarroja (Figura 1.7) (Hildebrandt, Raschner y Ammer, 2010).



*Figura 1.7:* Imagen infrarroja de la cara anterior de las rodillas con entesitis rotuliana que afecta a la rodilla derecha. Tomada de Hildebrandt et al. (2010).

Cuando un futbolista se somete a una carga considerable, como la de la competición, se produce un gran número de microlesiones generándose rupturas en las fibras musculares, daños en la membrana celular y degeneración del sarcómero (Hyldahl y Hubal, 2014).

Este proceso desencadena una respuesta inflamatoria local que implica la liberación de distintas sustancias, expuestas en el siguiente apartado, promoviendo el aumento de temperatura en la zona dañada (Hildebrandt et al., 2010).

En esta línea, Andrade et al. (2017) evaluaron mediante IRT la alteración de temperatura cutánea local que se produce tras el partido, hayando aumentos significativos 24 horas después del partido.

Tal y como afirman Marins et al. (2012) un aumento anormal de temperatura, en las dos piernas o en una determinada región específica, que se manifieste de forma prolongada o más intensa de lo normal para el deportista, puede estar relacionado con un proceso inflamatorio. Esta variable, por lo tanto, se puede considerar como un indicador de daño muscular o fatiga que podría ayudar en el proceso de control del entrenamiento (Hildebrandt et al., 2010).

#### ***1.5.7.5. Marcadores fisiológicos.***

Como consecuencia de la realización de esfuerzos máximos, bien durante la competición o el entrenamiento, se producen unos cambios en el organismo traducidas en alteraciones estructurales como daños en las miofibrillas (Andersson et al. 2008b) o segregación de sustancias y/o hormonas que pueden ser utilizadas como indicadores de un proceso de fatiga.

Con el objetivo de prevenir lesiones, o para el diagnóstico de procesos inflamatorios musculares en jugadores de fútbol, se han utilizado análisis en sangre para detectar la presencia de marcadores específicos relacionados con el daño muscular (Guerrero et al, 2008).

CK (creatina quinasa) es uno de los marcadores séricos de lesiones musculares más utilizados (Banfi, Colombini, Lombardi y Lubkowska, 2012), de este modo, Andersson et al. (2008b), en su estudio realizado con jugadoras de fútbol profesional, encontraron un ascenso inmediato de la concentración de CK en las jugadoras tras la competición.

Inmediatamente después del partido los futbolistas experimentan un aumento de la concentración de CK desde 70% a 250%, alcanzando el pico de 24 a 48 horas después del partido y volviendo a los valores base entre 48 y 120 horas tras la competición (Nédélec et al., 2012; Mohr et al., 2016). Este indicador ha sido muy utilizado ya que su concentración permanece elevada durante más tiempo que otras proteínas como la mioglobina, que se restablece antes de 24 horas tras el ejercicio (Bailey et al., 2007; Magalhães et al., 2010).

También hallaron un aumento de los niveles de AMP y como consecuencia un aumento de los iones amonio (NH<sub>3</sub>) y un incremento de la desintegración de proteínas.

La deshidratación también ha sido sugerida como causa del descenso del rendimiento, Una pérdida de fluido de 2,7% del peso corporal total ha mostrado reducir la realización de sprints de 5 a 10 veces durante el partido (Magal et al. 2003).

El aumento de concentración de urea y ácido úrico también puede ser una consecuencia de la realización de esfuerzos intensos durante tiempos prolongados tanto en hombres como en mujeres (Bangsbo, 1993b).

El ácido úrico y la úrea son marcadores de un aumento del ciclo de recomposición de nucleótidos y de la desintegración de aminoácidos (Viru y Viru, 2001). Ha sido observado un incremento de la concentración de ácido úrico de hasta un 75% inmediatamente después del ejercicio, permaneciendo elevado hasta 96 horas tras el ejercicio (Nédélec et al., 2012).

El daño muscular se inicia con una respuesta de inflamación local, en la que se aumenta la producción de citoquinas que facilitan la rápida invasión en el músculo de células inflamatorias que pueden persistir desde días a semanas durante la recuperación (Nédélec et al., 2012).

La interleuquina (IL)-6 es la citoquina producida en mayores cantidades y ha mostrado ser la que antes se segrega teniendo un papel inicial en la “cascada de citoquinas” (Ispirlidis et al., 2008; Reihmane y Dela, 2014).

Reihmane, Jurka y Tretjakovs (2012) demostraron que el ejercicio máximo se correlaciona con un aumento de la concentración sérica de IL-6, lo que sugiere que el suero IL-6 podría ser liberado por los neutrófilos durante los esfuerzos máximos.

La concentración de IL-6 alcanza su pico inmediatamente después del partido y rápidamente se reduce normalizándose tras 24 horas del partido (Ispirlidids et al., 2008; Andersson et al., 2010).

Los niveles de cortisol tienen un efecto directo con la concentración de testosterona en sangre (Bambino y Hsueh, 1981; Cumming, Quigley y Yen, 1983). Romagnoli et al (2016) encontraron una disminución de testosterona y cortisol en jugadores de fútbol profesional debido a la fatiga producida por el partido. Autores como Mohr et al. (2016) comprobaron que los valores de cortisol en jugadores de fútbol se restablecieron 24 horas después del partido.

Malm, Ekblom y Ekblom (2004) concluyeron que 72 horas después del partido de fútbol los jugadores mostraron valores reducidos de testosterona mientras que el descenso de cortisol no estuvo claro. En esta línea Maso, Lac, Filaire, Michaux y Robert (2004) proponen el control de testosterona (hormona anabólica) como un medio más práctico que de cortisol (hormona catabólica) para determinar el grado de cansancio de jugadores de rugby internacionales.

Otros mecanismos como el aumento de fosfato inorgánico, la alteración en el proceso excitación-contracción dependiente de ion  $\text{Ca}^{2+}$  o un bajo pH muscular como consecuencia de la acumulación de ácido láctico ha sido sugerido por autores como la causa del descenso del rendimiento de la contracción muscular (Warren, Ingalls, Lowe y Armstrong, 2001; Westerblad, Allen y Lannergren, 2002).

Silva et al. (2017) en su revisión sobre la fatiga producida por el evento del partido en fútbol establece como cambios metabólicos la



alteración en sangre y sustrato metabólico (glucógeno, glucosa, triglicéridos, ácidos grasos libres, HDL, LDL), los metabolitos (lactato, urea, creatinina, ácido úrico, glicerol, bicarbonato) y el pH.

En cuanto a los parámetros bioquímicos realizan una clasificación con cinco categorías:

-Estado redox: medido mediante biomarcadores de oxidación de lípidos (malondialdeído, 8-iso-prostaglandina, F2 $\alpha$ ) y de proteínas (grupos sulfhídricos)] y biomarcadores anti-oxidantes como enzimas (glutación peroxidasa, glutación reductasa y superóxido dismutasa) y antioxidantes no enzimáticos (glutación y ácido úrico).

-Respuestas endocrinas: testosterona, cortisol e insulina.

-Daño muscular: actividad enzimática intracelular (creatin-kinasa y lactato deshidrogenasa) y concentraciones de hemoglobina circulatoria, aspartato aminotransferasa y alanina aminotransferasa.

-Estado inmunológico: número de glóbulos blancos (leucocitos, linfocitos, neutrófilos y monocitos) y concentración de inmunoglobinas (IgA, IgM and IgG).

-Marcadores inflamatorios: proteínas propias de fase aguda (proteína C-reactiva), citoquinas antiinflamatorias (interleuquina-6) y proinflamatorias (factor de necrosis tumoral).

Silva et al. (2013b) comprobaron la alteración de las concentraciones de determinados marcadores bioquímicos, ya explicados, en jugadores de fútbol profesional durante una temporada.

La testosterona se mantuvo constante, la concentración de cortisol descendió al final de temporada, el ratio testosterona/cortisol aumentó en el periodo competitivo y la creatinaquinasa y la proteína C-reactiva aumentó durante la temporada.

#### ***1.5.7.6. Escalas de percepción subjetiva.***

Saw et al. (2016) en su revisión establecieron que, en lugar de las medidas objetivas, las medidas subjetivas son más apropiadas y sensibles para conocer el efecto provocado por el entrenamiento y/o la competición. Además, atribuyeron una triple ventaja al uso de indicadores subjetivos: es fácil de usar, no requiere de coste económico y es sensible a la realidad.

Igual que en las escalas subjetivas propuestas anteriormente, para medir la carga, en las escalas para medir la fatiga, recuperación o el estado de bienestar, sería necesario un periodo de familiarización por parte de los deportistas para que estos medios sean sensibles a las variables que se pretenden medir, con el objetivo de aumentar la eficacia del mismo. Una vez alcanzado este punto puede ser útil para detectar posibles cambios individuales durante el proceso de entrenamiento de un equipo (Nédélec et al., 2012).

Un medio que cada vez se utiliza más para conocer el daño muscular de los jugadores, tanto en la realización de estudios como en el alto rendimiento, es la Visual Analogic Scale (VAS) (Rebelo et al. 2012). En los apartados anteriores se reporta como instrumento para medir la carga interna, aunque también se está utilizando para medir el estado del jugador (Romagnoli et al. 2016) siendo catalogado como un

instrumento útil para la detección de fatiga o daño (Chaffee, Yakuboff y Tanabe, 2011).

Consiste en una herramienta con una línea horizontal de 10 cm con el término “sin dolor” en el extremo izquierdo y el término “daño extremo” en el extremo derecho. Los jugadores marcan el daño percibido sobre la escala y se mide la distancia en cm hasta el extremo izquierdo para establecer el valor numérico de daño en unidades arbitrarias.

Por otra parte, Hooper y Mackinon (1995) propusieron un instrumento, para ayudar en la detección de un posible estado de sobreentrenamiento, mostrando correlaciones con parámetros como creatina quinasa, valores de glóbulos blancos, de glóbulos rojos y catecolaminas.

Es conocido como Índice de Hooper, y se obtiene a partir de reportar los valores numéricos en escalas likert en referencia a la calidad de sueño, el grado de estrés, la fatiga y el daño muscular. Son escalas likert que comprenden valores de 1 a 7 y se deben responder antes de la sesión de entrenamiento o partido. El Índice de Hooper se obtiene de sumar los 4 valores obtenidos en cada una de las escalas.

El cuestionario de Hooper que fue validado inicialmente en natación (Hooper y Mackinon 1995) y posteriormente utilizado en fútbol (Chamari, Haddad, Wong, Dellal y Chaouachi, 2012; Fessi et al., 2016; Haddad et al., 2013; Thorpe et al., 2016).

Representa un método fiable basado en cuestionarios de auto-análisis en relación al bienestar del deportista. Debido a su facilidad de uso, a que no es invasivo y a su practicidad para obtener un feedback inmediato, ha sido calificado como un medio útil para conocer el estado de los deportistas (Moalla et al., 2016).

Algunos factores como la frecuencia de la administración, el tiempo necesario para completar las preguntas, la sensibilidad del cuestionario, el tipo de respuesta requerida, la hora del día en que se responde y el cuestionario que se implementa, deberían de ser considerados previamente a la utilización de cualquier instrumento de evaluación/cuestionario (Halsen, 2014).

Por esta razón Moalla et al. (2016) defiende que el cuestionario de Hooper es una de las estrategias más prácticas y rentables para medir diariamente el efecto del entrenamiento y para detectar un posible sobreentrenamiento, (Angeli, Minetto, Dovio y Paccotti, 2004) debido a que tiene un número menor de ítems, 4 comparado con los 76 del Recovery-Stress Questionnaire (Kellmann y Kallus, 2001) para deportistas y de los 65 del Profile of Mood States (Morgan, Brown, Raglin, O'Connor, y Ellickson, 1987).

Los cuestionarios extensos requieren de más esfuerzo por parte del deportista, así como una gran inversión de tiempo para completarlos. Twist y Highton (2013) en su estudio realizado sobre fatiga en rugby aconsejan la utilización de cuestionarios breves ya que son más prácticos en el día a día, aunque se obtenga menos información que en los cuestionarios extensos (Robson-Ansley, Gleeson y Ansley, 2009).

McLean, Coutts, Kelly, McGuigan y Cormack (2010) propusieron un cuestionario basado en el de Hooper pero añadiendo una variable más: estado de ánimo. También modificó los valores de la escala pasando a ser de 1 a 5 en lugar de los 7 valores de la escala original. Estudios como el de Bucheit et al. (2013) han mostrado que esta escala es sensible a las oscilaciones en la carga de entrenamiento en fútbol.

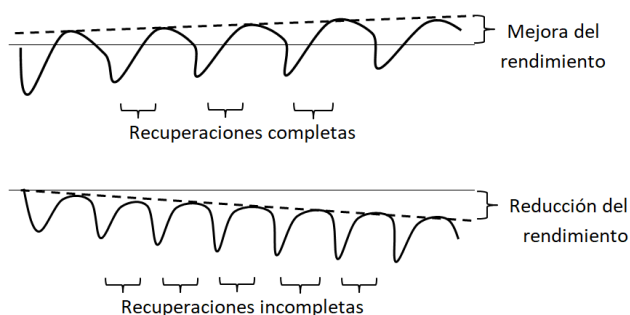
En 1993, la Sociedad Francesa de Medicina del Deporte (SFMS) propuso un cuestionario para determinar el estado de sobreentrenamiento (Legros, 1993). Bricout et al. (2003) comprobaron que era un método útil para entrenadores, deportistas e investigadores aportando una buena estimación del estado físico de los deportistas permitiendo también detectar estados de fatiga o sobreentrenamiento durante los periodos de entrenamiento (Maso et al., 2004).

## 1.6. Recuperación

Para alcanzar el rendimiento esperado se le debe otorgar un grado de importancia similar a la recuperación que a los demás elementos del proceso de entrenamiento, con el fin de que la fatiga provocada por la carga recibida, mediante la recuperación, evolucione en la aparición de adaptaciones (Bompa, 2003).

Del mismo modo, García-Verdugo (2007) considera el proceso de recuperación, junto con la carga de entrenamiento, uno de los dos pilares de la adaptación.

Durante la temporada 2009-2010 algunos jugadores españoles, que culminaron la campaña con la disputa del Mundial de Sudáfrica, jugaron más de 70 partidos oficiales, lo que puede sugerir la importancia de la recuperación durante toda la temporada debido a la alta densidad competitiva. Una recuperación incompleta (Figura 1.8) podría provocar un rendimiento bajo y un incremento del riesgo de lesión (Nédélec et al., 2012).



*Figura 1.8 Efectos del entrenamiento ante recuperación completa e incompleta.*

(elaboración propia).

Dupont et al. (2010) determinaron que los jugadores que jugaban 2 partidos por semana tenían una probabilidad de padecer lesión 6,2 veces mayor que los jugadores que jugaban solamente un partido semanal.

Por esta razón las técnicas de recuperación deben ser habituales y bien coordinadas con las adaptaciones a las demandas del proceso de entrenamiento, teniendo con una adecuada alternancia entre trabajo y regeneración, con el objetivo de evitar un proceso de sobreentrenamiento (Bompa, 2003).

El proceso de recuperación, caracterizado por presentar una alta variabilidad interindividual (Nédélec et al., 2012; Ratel, Lazaar, Williams, Bedu, y Duche, 2003), permite al deportista el restablecimiento de los niveles iniciales tras el entrenamiento y la consecución del efecto de adaptación (García-Verdugo, 2007).

Numerosos estudios han sugerido que se necesitan más de 72 horas para alcanzar los valores de rendimiento pre partido y normalizar el daño muscular y la inflamación producida durante la competición (Andersson et al., 2008b; Ispirlidis et al., 2008).

La recuperación es un proceso multidimensional que depende tanto de factores intrínsecos como extrínsecos.

En cuanto a los factores intrínsecos la edad cronológica de los deportistas es un factor que afecta al proceso de recuperación, aquellos de más edad requieren un mayor tiempo de recuperación (Rowland, 1990). La experiencia deportiva juega un papel

fundamental en la recuperación del esfuerzo. Los deportistas con más experiencia acumulada en una modalidad deportiva determinada recuperan antes (Noakes, 1992). En referencia al sexo del deportista, las mujeres reflejan una recuperación más tardía que los hombres como consecuencia de las diferencias hormonales (Noakes, 1992; Rowland, 1990; Vander, Sherman y Luciano, 1990). El tipo de ejercicio realizado y la vía metabólica predominante afecta al tiempo de recuperación. Los trabajos de resistencia con predominio aeróbico requieren un tiempo de recuperación mayor que el entrenamiento anaeróbico (Bompa 2003). Los factores psicológicos han resultado ser relevantes en el proceso de recuperación. Aspectos emocionales negativos desencadenantes del estrés pueden desencadenar agentes hormonales que perjudican el proceso de recuperación. (Bompa, 2009).

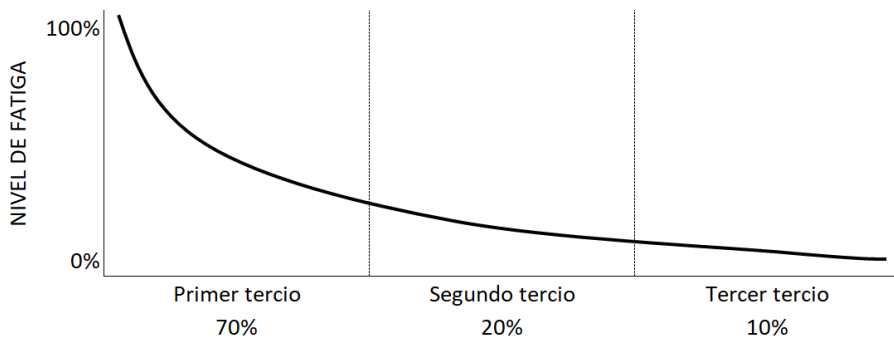
En cuanto a factores extrínsecos encontramos agentes contextuales en fútbol como el resultado del partido (victoria, empate o derrota), la calidad del oponente (alta o baja), la localización del partido (locales o visitantes) y el tipo de partido (amistoso, nacional, internacional...) que han resultado ser condicionantes significativos del proceso de recuperación (Lago-Peña, Rey, Lago-Ballesteros, Casáis y Domínguez, 2011). Las condiciones climatológicas también afectan al desarrollo de recuperación (Pinnington y Dawson, 2001). La disponibilidad y restitución de nutrientes (vitaminas y minerales) y la recarga de los procesos energéticos resulta determinante en el proceso de recuperación (Bompa, 2003).



### 1.6.1. Proceso de recuperación.

La dinámica de la recuperación no es un proceso lineal progresivo (Florescu, Dumitrescu y Predescu; citado en Bompa, 2003) ya que la fatiga se reduce de forma más acelerada en la primera fase de recuperación que en las posteriores (Bompa, 2003).

Los autores mencionados clasifican el proceso de recuperación en tres fases: primer tercio, segundo tercio y tercer tercio (Figura 1.9) y exponen que el tiempo que transcurre en cada una de las fases es variable dependiendo de los factores ya explicados.



*Figura 1.9* Evolución de la curva de recuperación. Tomada de Bompa (2003).

García-Verdugo (2007) hace una clasificación de los tipos de recuperación en función del tiempo de aparición de la misma.

La recuperación operativa se trata de la recuperación inmediata de los sistemas energéticos inmediatamente después del entrenamiento (Zhelyakov, 2001).

La recuperación inmediata se limita a las 2 horas, aproximadamente, después de haber finalizado el ejercicio cuyo objetivo es la restitución de la homeostasis (Platonov y Coll, 1991).

Por último, la recuperación retardada constituye el proceso final de la recuperación y el inicio de las adaptaciones, también denominada como fase constructora (Platonov y Coll, 1991).

### **1.6.2. Marcadores de recuperación.**

Numerosos indicadores de rendimiento han sido utilizados en el alto rendimiento y el ámbito de la investigación para conocer el estado de recuperación de los futbolistas.

El rendimiento en sprints cortos ha resultado disminuir entre un 2% y un 9% después del ejercicio de alta intensidad (Nédélec et al., 2012). Los estudios difieren en el tiempo necesario de recuperación y restablecimiento de los valores iniciales de rendimiento en sprint, comprendiendo entre 5 horas (Andersson et al., 2008b) y 92 horas (Ispirlidis et al., 2008) tras la competición.

Por otra parte, se ha reportado un tiempo necesario de 48 horas (Ispirlidis et al., 2008; Featouros et al., 2010) o de más de 72 horas (Andersson et al., 2008b; Magalhaes et al., 2010) para recuperar los valores iniciales de rendimiento en salto tras el partido de fútbol.

El indicador de resistencia a esfuerzos repetidos (RSA) ha sido utilizado durante el proceso de recuperación para verificar si un jugador está en condiciones de tolerar las altas demandas del partido (Gabbett, 2010; Impellizzeri et al., 2008).

Tras el partido se generan pérdidas en la fuerza máxima voluntaria determinada por una combinación de factores centrales y periféricos que aparecen en el proceso de recuperación (Rampinini et al., 2011; Robineau et al., 2012). Mientras la fatiga central parece ser la causa principal del descenso de la fuerza máxima voluntaria (Rampinini et al., 2011), la fatiga periférica parece estar más relacionada con el daño muscular y la inflamación (Robineau et al., 2012).

Aunque se requieren futuras investigaciones para determinar la influencia de estas variables sobre el estado de recuperación, se han propuesto la flexibilidad (Ispirlidis et al., 2008), el rendimiento aeróbico (da Silva, Guglielmo y Bishop, 2010) y las habilidades técnicas (Rampinini et al., 2011) como otros mecanismos de control del estado de recuperación.

Tal y como se ha expuesto en el apartado de fatiga, los marcadores de percepción subjetiva, como el daño muscular, se han establecido como medios válidos para conocer el estado de recuperación de los futbolistas (Chamari et al., 2012; Fessi et al., 2016; Haddad et al., 2013; Thorpe et al., 2016). Se ha interpretado el proceso de recuperación desde un punto de vista multifactorial evaluando otras variables como la calidad de sueño, el estrés y la fatiga (Hopper y Mackinnon, 1995) que podrían tener relación con el proceso de recuperación.

El uso de cuestionarios como TQR (Kentta y Hassmen, 1998) permite conocer el grado de recuperación subjetiva al final del microciclo o semana de entrenamiento, lo que también podría

informar de la fatiga generada en el jugador durante la semana (Zurutuza et al., 2017).

En cuanto a los marcadores bioquímicos, del mismo modo que han sido utilizados para conocer la magnitud de la fatiga, son utilizados para conocer el estado de recuperación de los deportistas.

La concentración de CK aumenta desde un 70 a un 250% tras el partido, alcanzando el pico entre 24 y 48 horas y volviendo a los valores normales entre 48 y 120 horas después (Mohr et al., 2016; Nédélec et al., 2012). Aunque la mioglobina también se ha utilizado, no aporta tanta información al normalizarse tras 24 horas del partido (Bailey et al., 2007; Magalhães et al., 2010).

La interleukina 6 (IL-6), proteína c-reactiva (CRP), especies de oxígeno reactivo (ROS) o ácido úrico son otros marcadores cuya concentración aumenta tras el partido y que se han utilizado para conocer el estado de recuperación (Ispirlidis et al., 2008; Reihmane y Dela, 2014).

En cuanto a concentraciones hormonales, Maso et al. (2004) defienden que es preferible evaluar las variaciones de testosterona (hormona anabólica) frente a las variaciones de cortisol (hormona catabólica) para determinar el estado de recuperación.

### **1.6.3. Métodos de recuperación.**

El proceso de recuperación no se desarrolla de la misma forma en todos los sistemas que conforman el organismo. En función de la tipología de esfuerzo podría verse afectado más un sistema que otro

(García-Verdugo, 2007). Por ejemplo, el sistema neuromuscular podría presentar un ritmo distinto de recuperación que el sistema cardiorrespiratorio. Por lo tanto, resulta aconsejable realizar una recuperación activa que acelere el proceso de recuperación de la totalidad de sistemas afectados por el entrenamiento

Bompa (2009) propone diferentes medios de recuperación dependiendo de la fatiga del proceso de entrenamiento, de los sistemas energéticos solicitados y del momento de la semana.

Los medios naturales con aquellos que no requieren ningún medio artificial ni modalidad especial, como la actividad aeróbica, la terapia de estiramiento o el descanso pasivo.

Otros medios propuestos son los fisioterapéuticos destacando el masaje, las terapias de calor, de frío, los baños de contraste, la oxigenoterapia, la aeroterapia, la cura de altitud, la reflexoterapia, la quimioterapia... (Bompa, 2009; Ascensão, Leite, Rebelo, Magalhães y Magalhães, 2011).

### **1.7. Adaptaciones**

Las adaptaciones que genera el entrenamiento en el organismo del deportista están determinadas por un balance óptimo entre la carga de entrenamiento (intensidad y volumen del estímulo) y el tiempo de recuperación (cantidad y calidad de la recuperación).

En este sentido, resulta importante destacar que el deportista tendrá una mejora positiva cuando el nivel del estímulo del entrenamiento sea adecuado y el tiempo de recuperación suficiente

(supercompensación positiva), mientras que sufrirá un efecto negativo cuando el estímulo de entrenamiento sea excesivo y el tiempo de recuperación insuficiente (supercompensación negativa). Además, en caso de que el estímulo de entrenamiento sea insuficiente, no se provocarán adaptaciones en el deportista (Vesterinen, 2016).

En esta línea, Álvarez (1992) define el proceso de adaptación como la capacidad de los seres vivos para mantener un equilibrio constante de sus funciones ante la exigencia de los estímulos que constantemente inciden en ellas gracias a la modificación funcional que se produce en cada uno de sus órganos y sistemas.

Un programa de entrenamiento correctamente estructurado y planificado genera una serie de adaptaciones cardiorrespiratorias y metabólicas (Hernández-Álvarez et al., 2010; Maté-Muñoz, Isidori y Garnacho-Castaño, 2015), y adaptaciones neuromusculares y hormonales en el organismo del deportista (Bompa, 2003; Hammet y Hey, 2013; Peña, Heredia, Lloret, Martín y Silva-Grigoletto, 2016) que contribuyen a la mejora funcional del organismo.

### **1.7.1. Adaptaciones cardiorrespiratorias y metabólicas.**

La magnitud de las adaptaciones depende de la frecuencia, duración e intensidad del estímulo de entrenamiento y del proceso de recuperación, pero también tiene influencia el estado inicial del deportista, las condiciones genéticas, la edad y el sexo del deportista (Jones y Carter, 2000).

En este sentido, mediante el entrenamiento, se produce una mejora del sistema de transporte de oxígeno y el  $\dot{V}O_2$  máx., incrementando de

esta forma, el gasto cardíaco máximo y la máxima diferencia de oxígeno arteriovenosa. Se trata de una mejora a nivel global del organismo, que incluye mejoras en la respiración, función cardíaca, circulación central y periférica (Smith y Mitchell, 2000).

Los principales efectos del entrenamiento se centran en la mejora del sistema cardiorrespiratorio, relacionado con un aumento del gasto cardíaco máximo, aumento del volumen sistólico máximo, aumento del tamaño del corazón (cavidad ventricular), menor frecuencia cardíaca en reposo y un aumento de la difusión de oxígeno en sangre en comparación con personas sin entrenamiento (Smith y Mitchell, 2000; Jones y Carter 2000, Wang, Solli, Nyberg, Hoff y Helgerud, 2012; Vesterinen, 2016).

Además, resulta importante destacar que aunque la función pulmonar en reposo no sufre variaciones con el ejercicio, se encuentran algunas mejoras relacionadas con el descenso del nivel de ventilación en esfuerzos submáximos y una menor ventilación pulmonar con la aparición de la fatiga durante el ejercicio prolongado (Smith y Mitchell, 2000).

Con respecto a las adaptaciones que sufre el organismo a nivel metabólico, se produce un aumento de la capacidad para la producción de energía aeróbica, tanto de ácidos grasos como de carbohidratos, que mejora el rendimiento (Gastin, 2001). Además, el entrenamiento provoca mejoras en el metabolismo aeróbico al aumentar el flujo de sangre que llega al músculo, la capacidad de los músculos para almacenar glucógeno y la capacidad de los músculos para usar los

ácidos grasos como sistema energético (Laughlin y Roseguini, citado en Vesterinen, 2016).

En este sentido, por medio del entrenamiento se disminuye el uso de glucógeno muscular durante el ejercicio submáximo y se aumenta la oxidación de grasas, provocando un aumento del volumen mitocondrial junto con el aumento de las adaptaciones enzimáticas mitocondriales para la utilización de los ácidos grasos, generando una disminución progresiva en las señales que activan las principales enzimas que metabolizan carbohidratos (Yeo, Carey, Burke, Spriet y Hawley, 2011).

Asimismo, el metabolismo de tipo anaeróbico puede sufrir adaptaciones y mejoras a través de un tipo de entrenamiento más interválico y fraccionado, consiguiendo aumentar la tasa de producción de energía que proviene del sistema ATP-fosfato creatina (CP) y de la glucólisis anaeróbica (sistema de lactato) (Vesterinen, 2016).

La heterogeneidad en la respuesta del entrenamiento a un mismo estímulo está influenciada por múltiples mecanismos fisiológicos, aunque todavía son en gran parte desconocidos.

Se han propuesto varios factores tales como la genética, la edad, el sexo, la nutrición, el entrenamiento previo, el nivel de estado de forma, el descanso, el sueño, el estrés, la temperatura, la ingesta de alcohol, de cafeína o medicaciones diversas... como variables que alteran la adaptación al entrenamiento (Bouchard y Rankinen, 2001; Buchheit et al., 2010; Hautala et al., 2009).



### **1.7.2. Adaptaciones neuromusculares y hormonales.**

Resulta importante detallar que las adaptaciones que sufre el sistema neuromuscular dependen en gran medida del tipo de ejercicio realizado. No se generarán las mismas adaptaciones si el estímulo tiende a ser de resistencia o si tiende a ser predominantemente de fuerza (Baechle y Earle, 2007).

Respecto al entrenamiento de fuerza, la principal adaptación es el aumento del tamaño de la sección transversal del músculo (hipertrofia), provocado por crecimiento de las fibras (Tabla 1.2), y como consecuencia incitando a una mayor capacidad de generar tensión muscular (Baechle y Earle, 2007).

La hipertrofia no se produce de la misma forma en todos los tipos de fibra. Se ha observado que el trabajo de fuerza aumenta más el tamaño de las fibras de contracción rápida que de contracción lenta (Hather, Tesch, Buchanan y Dudley, 1991). En relación a esta idea, algunos autores afirman que el grado de hipertrofia que podría alcanzar un deportista dependería de la proporción de fibras de contracción rápida que tuviera (Hakkinen, Alen y Komi, 1985).

Las adaptaciones neurológicas, producidas por el entrenamiento, también contribuyen al desarrollo de la fuerza, de esta forma, cuantas más unidades motoras se activen (reclutamiento) en un mismo momento (sincronización), más fuerza se podrá implementar (Ruther, Golden, Harris y Dudley, 1995).

Hace unas décadas se afirmaba que entrenamiento de fuerza no provocaba adaptaciones significativas sobre la potencia aeróbica,

(Dudley y Fleck, 1987; Hickson, 1980). No obstante, estudios recientes, exponen que mediante el entrenamiento de fuerza, el rendimiento aeróbico, traducido en VO<sub>2</sub>max. y FCmax., podría verse incrementado (Sedano, Marín, Cuadrado y Redondo, 2013; Taipale et al., 2010).

El entrenamiento de resistencia tiene como principal adaptación el aumento de la capacidad aeróbica (Tabla 1.2), producido entre otros mecanismos, por la disminución del glucógeno utilizado durante el ejercicio por parte del músculo que permite rendir durante más tiempo y disminuir la acumulación de ácido láctico (Baechle y Earle, 2007).

Este entrenamiento afecta tanto a las fibras de contracción rápida como de contracción lenta. Cuando la sollicitación de fibras de contracción lenta es muy exigente, las fibras de contracción rápida pueden contribuir activándose e incluso experimentando mejoras en cuanto a capacidad aeróbica.

Tabla 1.2 *Comparación de las principales adaptaciones al entrenamiento de fuerza y resistencia*

<b>Variable</b>	<b>Entrenamiento de fuerza</b>	<b>Entrenamiento de resistencia</b>
Tamaño de las fibras musculares	Aumenta	No cambia
Número de fibras musculares	No cambia	No cambia
Velocidad del movimiento	Aumenta	No cambia
Fuerza	Aumenta	No cambia
Capacidad aeróbica	No cambia	Aumenta
Capacidad anaeróbica	Aumenta	No cambia

*Nota:* Extraído de Baechle y Earle (2007)

El entrenamiento concurrente de resistencia intenso y de fuerza, provoca una mejoría de fuerza menor que si se realizará de forma aislada en entrenamiento de fuerza (Dudley y Fleck, 1987, Hickson, 1980).

La combinación y disparidad de esfuerzos en fútbol, cuya fundamental capacidad es la resistencia a esfuerzos repetidos (Davis y Brewer, 1992; Todd et al., 2002) en la que intervienen estímulos de fuerza y resistencia, provoca una serie de interacciones (Dudley y Fleck, 1987) entre las capacidades estimuladas que se debería tener en cuenta con el fin de no reducir el rendimiento global del futbolista.

### **1.8. Planificación de entrenamiento en fútbol**

El equilibrio entre la carga de entrenamiento y la recuperación es el elemento principal a tener en cuenta para el desarrollo de una planificación del entrenamiento eficaz. Una adecuada y graduada dosis en la carga de entrenamiento es necesaria para alterar la homeostasis del cuerpo del deportista y alcanzar mejoras en el estado de forma del futbolista (Vesterinen et al., 2013).

Variar el tipo, la intensidad y el volumen (mediante la modificación de la duración y frecuencia) de las sesiones de entrenamiento permite al organismo, que durante el descanso, la carga de entrenamiento suministrada previamente provoque adaptaciones que repercutirán en el estado de forma del deportista. La propuesta de distribuir estos elementos del entrenamiento a lo largo del tiempo se denomina periodización o planificación del entrenamiento (Issurin, 2010).

Las demandas físicas en el fútbol de élite han aumentado progresivamente en los últimos años (Barnes, Archer, Hogg, Bush y Bradley, 2014; Bradley et al., 2016). Los equipos de alto nivel tienen que competir un alto número de partidos a lo largo de la temporada. Por esta razón es imprescindible que los profesionales responsables de la planificación, utilicen herramientas de monitorización mediante las cuales se obtenga información, tanto de la carga de entrenamiento suministrada como del estado de recuperación o fatiga del deportista, para adaptar la periodización del entrenamiento a las necesidades del futbolista (Meeusen et al., 2013).

La monitorización de la carga de entrenamiento es el factor clave para el control del proceso de entrenamiento en el deporte (Rebelo et al., 2012). Una evaluación y un control detallado de la carga de entrenamiento es imprescindible para la correcta planificación y periodización del entrenamiento, especialmente para prevenir el bajo entrenamiento, el sobreentrenamiento y asegurarse que los deportistas llegan en condiciones óptimas a la competición (Little y Williams, 2007).

La periodización del entrenamiento en el fútbol, a diferencia de los deportes individuales, donde los periodos de competición suelen estar concentrados en distintos momentos de la temporada, se orienta al mantenimiento de un buen estado de forma durante aproximadamente los 9 meses de competición, donde hay que disputar un alto número de partidos, en ocasiones con una separación entre partidos de una semana y en ocasiones de solamente 3 ó 4 días (Thorpe y Sunderland, 2012).

La planificación del entrenamiento en fútbol varía de forma considerable en función de los dos periodos de la temporada: el periodo precompetitivo o “pretemporada” y el periodo competitivo (Impellizzeri et al., 2005).

### **1.8.1. Periodo preparatorio.**

El entrenamiento en pretemporada coincide con la fase de preparación antes de la competición. Durante este periodo el deportista desarrolla el marco general de la preparación física, técnica, táctica y psicológica para la fase de competición, basándose en un

volumen de entrenamiento elevado respecto a la etapa competitiva (Bompa, 2003).

El entrenamiento en “pretemporada” normalmente se centra en la “reconstrucción” del estado de forma de los jugadores después del periodo de vacaciones, mientras que el objetivo principal de la planificación del entrenamiento en el periodo competitivo consiste en mantener las capacidades específicas desarrolladas en la pretemporada (Bangsbo, 1994).

Se encuentran diferencias contrastadas entre los dos periodos expuestos en equipos de fútbol profesional. De este modo, en cuanto al volumen y la densidad de entrenamiento, en el periodo competitivo se realizan unos 4-6 entrenamientos semanales (Bangsbo, Mohr y Krusturp, 2006a) mientras que en el periodo de “pretemporada” se realizan 1 ó 2 sesiones diarias 6 ó 7 días a la semana (Impellizzeri et al., 2006).

Además de recibir un mayor volumen de entrenamientos en pretemporada, hay una mayor proporción significativa de tiempo a intensidades altas (80-100 FCmax) medidas mediante la frecuencia cardiaca con respecto al resto de la temporada. (Jeong, Reilly, Morton, Bae y Drust, 2011). Por lo tanto, es generalmente aceptado que las demandas fisiológicas en pretemporada son mayores que en el resto de la temporada (Svensson, 2007).

Según Bompa (2003) la duración de esta etapa en los deportes colectivos es de alrededor de 2 meses y los objetivos específicos del entrenamiento durante esta fase son:

- Adquirir y mejorar las capacidades físicas generales.
- Mejorar las habilidades biomotoras requeridas por el deporte.
- Ejercitar los rasgos psicológicos específicos.
- Desarrollar, mejorar o perfeccionar la técnica.
- Familiarizar a los deportistas con las estrategias que se utilizará en la siguiente fase.

### **1.8.2. Periodo competitivo.**

El objetivo de este periodo es la consecución y mantenimiento de la forma deportiva, perfeccionamiento técnico-táctico y el desarrollo volitivo, por medio de la preparación para la competición inmediata y la breve fase de descarga después de la competición anterior (Álvarez, 1992).

Estos periodos suelen estar formados por la combinación de microciclos sucesivos, que coinciden, generalmente con la semana de competición, y están formados por los 5 ó 6 entrenamientos semanales que culminan con el partido (Bangsbo et al., 2006a).

Un componente clave en la prescripción del entrenamiento en el periodo competitivo, que se basa en la semana o microciclo de competición, reside en la necesidad de periodizar la carga de entrenamiento para minimizar la fatiga del jugador antes de los partidos semanales (Malone et al., 2015).

El aumento de la demanda física (Barnes et al., 2014) y los periodos de tiempo cada vez más cortos entre los partidos (Carling et al., 2015) demuestran la creciente importancia de la recuperación del jugador. Se ha demostrado que un jugador de fútbol puede tardar hasta 72 horas después del partido para volver a la homeostasis física previa al partido (Fatouros et al., 2010; Ispirlidis et al., 2008).

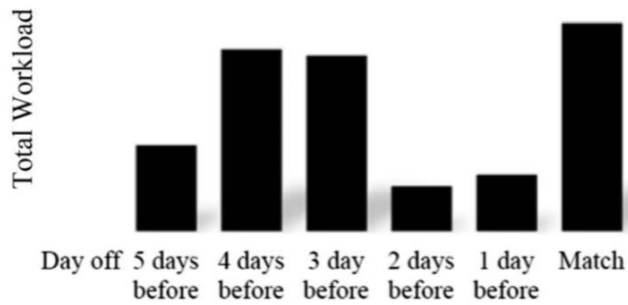
Conociendo la duración del proceso de recuperación, será necesario tenerlo en cuenta a la hora de ubicar las sesiones con mayor carga de entrenamiento en la semana.

Asimismo, es esencial situar las sesiones de mayor carga, después de la recuperación y distanciadas del próximo partido (Figuras 8.1, 8.2 y 8.3), con el fin de que se produzca una recuperación completa y llegar en un estado óptimo a la competición (Bangsbo et al., 2006a; Dawson, 1996).

Esta planificación del entrenamiento semanal es común entre muchos equipos de fútbol y otros deportes de equipo donde hay competición semanalmente (Rowbottom, 2000).

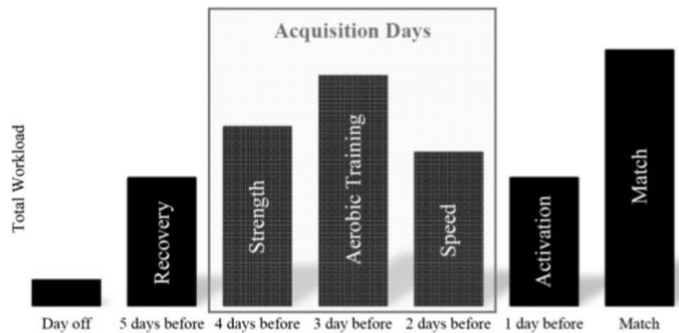
Autores como Impellizzeri et al. (2005) que analizaron la carga los distintos tipos de día de la semana clasificaron cada día en función de los días que restaban al partido (Figura 1.10): el quinto día previo al partido se designó como -5 y el día anterior al partido se designó como -1, utilizando este criterio para los demás días intermedios.





*Figura 1.10* Periodización de entrenamiento semanal. Tomada de Impellizzeri et al. (2005)

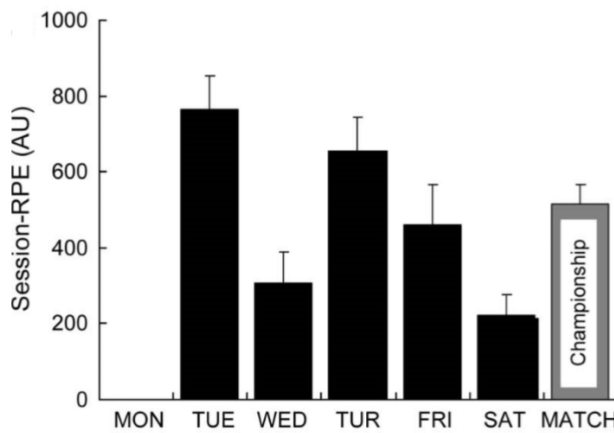
Clemente., Martins, y Mendes (2014) en su estudio utiliza la misma clasificación (Figura 1.11) al definir el día de descanso como día “off” seguido de los días -5, -4, -3, -2 y -1.



*Figura 1.11* Propuesta de microciclo de entrenamiento en fútbol. Tomada de Clemente et al. (2014)

A diferencia de los dos estudios expuestos, en la investigación de Malone et al. (2015) en semanas con un partido, se entrenó el segundo día después del día de partido (match day) que coincidía con el día -5, seguido de un día de descanso (day off) y los 3 días consecutivos previos a partido: -3,-2 y -1.

Sin embargo, Manzi et al. (2010) en lugar de asignar un valor a cada día, lo nombran de acuerdo al día de la semana (Figura 1.12), posiblemente debido a que en su estudio las semanas analizadas tienen una distribución constante, coincidiendo cada semana el día de partido con el domingo.



*Figura 1.12* Perfil de la semana de entrenamiento con un partido. Tomada de Manzi et al. (2010)

### **1.9. Objetivos**

Conocer la relación entre la carga de entrenamiento interna medida a partir de de frecuencia cardiaca mediante el TRIMP de Banister y la carga de entrenamiento interna medida a partir de la percepción subjetiva del esfuerzo y la duración de la actividad, en jugadoras de fútbol profesional.

Conocer si hay diferencias en el volumen de entrenamiento de los distintos días de la semana competitiva en jugadoras de futbol profesional.

Conocer si hay diferencias en la carga de entrenamiento objetiva, medida mediante el TRIMP de Banister, de los distintos días de la semana competitiva en jugadoras de futbol profesional.

Conocer si hay diferencias en la carga de entrenamiento subjetiva, medida a partir de la percepción de esfuerzo, de los distintos días de la semana competitiva en jugadoras de futbol profesional.

Conocer si hay diferencias en la fatiga asociada al tiempo en test de 10 metros de los distintos días de la semana de competición en jugadoras de futbol profesional.

Conocer si hay diferencias en la percepción de fatiga general de los distintos días de la semana de competición en jugadoras de futbol profesional.

Conocer si hay diferencias en la percepción de calidad de sueño de los distintos días de la semana de competición en jugadoras de futbol profesional.

Conocer si hay diferencias en la percepción de daño muscular de los distintos días de la semana de competición en jugadoras de fútbol profesional.

Conocer si hay diferencias en percepción de estrés de los distintos días de la semana de competición en jugadoras de fútbol profesional.

Conocer si hay diferencias entre la carga interna del partido de las jugadoras titulares y el entrenamiento compensatorio el día +1 de las jugadoras suplentes, en un equipo de fútbol femenino profesional.

Conocer si hay diferencias entre la carga interna de los entrenamientos de una semana de competición y la carga interna de los entrenamientos de una semana sin competición, en un equipo de fútbol femenino profesional.

Conocer si hay diferencias en la variable relacionada con la fatiga tiempo relativo en el test de 10 metros el día -4 entre las jugadoras que jugaron partido y descansaron en el día +1 y las jugadoras que suplentes en el partido que hicieron entrenamiento compensatorio el día +1, en un equipo de fútbol femenino profesional.

Conocer si hay diferencias en las variables relacionadas con la fatiga obtenidos a partir de la percepción subjetiva el día -4 entre las jugadoras que jugaron partido y descansaron en el día +1 y las jugadoras que descansaron en el partido e hicieron entrenamiento compensatorio el día +1, en un equipo de fútbol femenino profesional.

Conocer la relación entre las distintas variables relacionadas con la fatiga en jugadoras de fútbol profesional.

## 2. Metodología

### 2.1. Participantes

En este estudio, han participado 15 mujeres futbolistas profesionales que forman parte de un equipo de fútbol de la primera división española femenina. Se excluyeron a las porteras debido a las diferencias que presentan, en cuanto a estímulos recibidos, con los jugadores de campo. Todas habían participado anteriormente en competiciones de máximo nivel. La edad (media  $\pm$  SD)  $26,1 \pm 4,1$  años, masa corporal  $56,3 \pm 5,1$  kg, el IMC  $20,9 \pm 1,3$ , los años como profesional  $6,3 \pm 3,8$  y el  $VO_2\text{máx}$   $56,4 \pm 2,3$  (ml/kg\*min).

Tabla 2.1 *Características de la muestra*

N	Edad (años)	Masa corporal (kg)	Altura (m)	IMC	Años como profesional	$VO_2\text{máx}$ (ml/kg*mi)
Sujeto 1	30	55	1,65	20,2	11	60
Sujeto 2	27	65	1,75	21,22	2	54
Sujeto 3	27	50	1,61	19,2	6	59
Sujeto 4	28	52	1,59	20,56	5	53
Sujeto 5	21	53	1,56	21,77	3	54
Sujeto 6	26	53	1,6	20,7	2	56
Sujeto 7	23	62	1,67	22,23	7	56
Sujeto 8	21	60	1,56	24,65	5	55
Sujeto 9	22	61	1,75	19,91	5	56
Sujeto 10	33	49	1,56	20,13	4	57
Sujeto 11	23	55	1,65	20,2	6	55
Sujeto 12	24	55,5	1,63	20,8	5	58
Sujeto 13	31	65	1,75	21,22	15	54
Sujeto 14	33	56	1,64	20,8	13	60
Sujeto 15	23	53	1,63	19,94	6	59
<b>Media</b>	<b>26,1</b>	<b>56,3</b>	<b>1,64</b>	<b>20,9</b>	<b>6,3</b>	<b>56,4</b>
<b>SD</b>	<b>4,1</b>	<b>5,1</b>	<b>0,07</b>	<b>1,3</b>	<b>3,8</b>	<b>2,3</b>

*Nota:* N=nº sujetos. SD=desviación estándar. IMC= índice de masa corporal.

Las jugadoras que se han utilizado para llevar a cabo el presente estudio estaban en perfecto estado de salud antes del comienzo de este. Todas ellas han pasado diferentes controles médicos y pruebas de esfuerzo durante el último año. Ninguna presenta arritmias y sus sistemas endocrinos están en condiciones normales.

Se proporcionó un documento de consentimiento informado a las jugadoras previamente al estudio, el cual firmaron de forma voluntaria, con el objetivo de explicar de qué se trataba, sus objetivos, cuáles eran los riesgos para su salud o ley de protección de datos.

En cuanto a los criterios de inclusión, se seleccionaron para el estudio las 15 jugadoras que más minutos llevaban jugados durante el transcurso de las jornadas de la temporada 2016/2017.

Las dos porteras del equipo fueron excluidas, igual que hicieron otros estudios, debido a que la carga física que reciben durante la semana de entrenamientos y el partido es diferente respecto a los jugadores de campo (Romagnoli et al, 2016).

Por otro lado, se han excluido los datos de los días en que las jugadoras presentaban una lesión o en los que había un error sistemático de algunos de los instrumentos de medida.

Las 15 jugadoras fueron analizadas durante las 13 semanas que comprendió el tiempo entre la jornada 17 y la 25. Durante este periodo cada jugadora fue muestreada diariamente resultando una N total de 1514.

En la variable tiempo en el test de 10 metros se excluyeron los días -2,-1 y 0 debido a fue imposible replicar las condiciones del test al alterar la superficie y/o el terreno del análisis.

En la Tabla 2.2 se presentan la muestra para cada prueba estadística que comparó las distintas variables según el día de la semana.

Tabla 2.2 *N en las distintas comparaciones según el día*

	VOL.	RPE	TRIMP	T. T. 10M	P. FATIGA	P. ESTRÉS	P. DAÑO M.	P. SUEÑO
- 3 Y - 4	131	123	84	87	123	114	123	123
- 2 Y - 4	131	123	84		123	114	123	123
- 1 Y - 4	131	85	84		123	114	123	123
0 Y - 4	122	114	84		123	114	123	123
+1 Y - 4	106	98	84	87	114	114	114	114
- 2 Y - 3	131	123	84		123	123	123	123
- 1 Y - 3	131	85	84		123	123	123	123
0 Y - 3	122	114	84		123	123	123	123
+ 1 Y - 3	106	98	84	87	114	114	114	114
- 1 Y - 2	131	85	84		123	123	123	123
0 Y - 2	122	114	84		123	123	123	123
+ 1 Y - 2	106	98	84		114	114	114	114
0 Y - 1	122	76	84		123	123	123	123
+ 1 Y - 1	106	60	84		114	114	114	114
+ 1 Y 0	106	98	84		114	114	114	114

*Nota:* N=muestra; VOL=Volumen; RPE=Esfuerzo Percibido; TRIMP=Training Impulse; T.T.10M=Tiempo en test de 10 metros; P.= Percepción; M.=Muscular.

Tabla 2.3 *N en comparaciones relativas a la carga interna en distintos eventos.*

	RPE	TRIMP
Partido y e. compensatorio	83	96
Sem. con y sin comp.	452	528

*Nota:* RPE= Rate Perception Exertion; TRIMP=Training Impulse; e.=entrenamiento; sem.=semana; comp.=competición.

En la Tabla 2.3 se presentan las muestras para las pruebas que compararon la carga interna en partido y entrenamiento compensatorio, y en semana de competición y no competición.

En la Tabla 2.4 se presentan las N para las pruebas que compararon las variables relacionadas con la fatiga de las jugadoras que fueron titulares y las que realizaron trabajo compensatorio el día -4.

*Tabla 2.4 N en la comparación entre jugadoras titulares y suplentes*

<b>Jugadores partido y jugadores compensatorio</b>	
<b>TEST 10 M</b>	47
<b>P.FATIGA</b>	58
<b>P.DAÑO MUSCULAR</b>	58
<b>P. SUEÑO</b>	58
<b>P. ESTRÉS</b>	58
<b>ÍNDICE DE HOOPER</b>	58

*Nota:* P.=Percepción; M= Metros.

En la Tabla 2.5 se presentan las N totales de las correlaciones realizadas.

*Tabla 2.5 N en las distintas correlaciones realizadas.*

	<b>P.Fatiga General</b>	<b>P.Calidad de sueño</b>	<b>P.Daño muscular</b>	<b>P.Estrés</b>	<b>TRIMP</b>
<b>Test 10m</b>	436	436	436	436	
<b>P.Fatiga General</b>		1163	1163	1163	
<b>P.Calidad de sueño</b>			1163	1163	
<b>P.Daño muscular</b>				1163	
<b>RPE</b>					492

*Nota:* P.=Percepción; RPE=Rate Perception Exertion; TRIMP=Training Impulse



## **2.2. Diseño de la investigación**

Mediante una metodología de tipo cuantitativa, se realizó un estudio descriptivo sobre distintas variables relacionadas con la carga de entrenamiento interna y con la fatiga o estado de bienestar durante el periodo de competición de un equipo de fútbol femenino profesional. Así mismo, se realizó un estudio comparativo para determinar diferencias de los valores obtenidos, entre días y otras variables de agrupación, y correlacional para conocer una posible asociación entre determinadas variables.

El estudio se realizó respetando los principios bioéticos establecidas por la Declaración de Helsinki. Antes del comienzo de la investigación se obtuvo un consentimiento informado por parte de cada jugadora participante en el estudio que se puede observar en los Anexos.

### 2.3. Procedimiento

Los datos se recogieron durante cuatro meses del periodo competitivo (Figura 2.1) comenzando a mediados de enero y finalizando a mediados de abril de 2017.

Todas las sesiones fueron diseñadas por el cuerpo técnico siguiendo el curso normal de entrenamientos y competición durante las cuales se realizaba una toma de datos diaria, tanto los días que había entrenamiento como los de descanso.

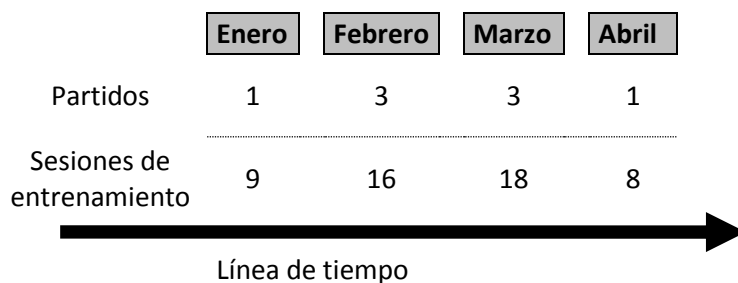


Figura 2.1: Temporización de recogida de datos.

#### 2.3.1. Tipos de día de entrenamiento.

En una semana tipo de competición (Figura 2.2), el día postpartido, las jugadoras que habían jugado, hacían entrenamiento regenerativo con el objetivo de ayudar a la recuperación. Las jugadoras que no habían jugado como titulares realizaban un entrenamiento intenso para compensar el esfuerzo no realizado durante el partido denominado entrenamiento compensatorio.

El segundo día después del partido se descansaba, y en algunas ocasiones el día previo al partido. Durante todos los demás días se realizaban entrenamientos.



*Figura 2.2* Semana de competición y tipos de día de entrenamiento.

Durante las semanas no competitivas en las que no había liga debido a los compromisos de la Selección Nacional las semanas fueron más variables y no se consideraron días tipo.

En variables relacionadas con la fatiga se discriminaron aquellos días -4 cuya semana anterior no hubo competición. Debido a que las jugadoras no venían de partido y solían haber tenido dos días libres antes de comenzar la semana de entrenamientos.

Para las variables de fatiga (tiempo en test de 10 metros y escalas subjetivas) se hizo diferenciación en los días -1 y -4 entre titulares y suplentes para no falsear las comparaciones.

Se discriminaron, en las comparaciones de variables relacionadas con la fatiga según el día, los días +1 y -4 de las jugadoras que no habían jugado por llevar una dinámica de recuperación distinta a las demás.

Para las variables de carga interna (TRIMP y FOSTER) se hizo diferenciación en los días 0 y +1 entre titulares y suplentes para no falsear las comparaciones.

En cuanto a la comparación de los tipos de día de la semana, en relación a variables de carga, se discriminaron los datos de las jugadoras suplentes el día 0 y +1 por llevar una dinámica de carga distinta a las demás.

### **2.3.2. Jugadoras titulares y suplentes.**

Aquellas jugadoras que el día de partido jugaron 60 minutos o más, fueron consideradas jugadoras titulares y en el entrenamiento post partido harían entrenamiento regenerativo para ayudar a la recuperación.

Aquellas jugadoras que el día de partido jugaron menos de 60 minutos fueron consideradas jugadoras suplentes y en el entrenamiento post partido harían entrenamiento compensatorio con el fin de recibir un estímulo suficiente para compensar la falta de carga del día anterior.

### 2.3.3. Protocolo de toma de datos.

Todos los días al despertar las jugadoras mediante sus smartphones respondían las encuestas online relativas a su estado de bienestar o fatiga.

Antes de cada entrenamiento (16:45pm) se realizaba el test de 10 metros para conocer la velocidad de cada jugadora.

Durante el entrenamiento o partido se monitorizaba mediante los pulsómetros la frecuencia cardiaca que tenían las jugadoras en todo momento.

Al finalizar la sesión de entrenamiento o partido las jugadoras respondían mediante sus smartphones las encuestas online relativas a la intensidad de la sesión.

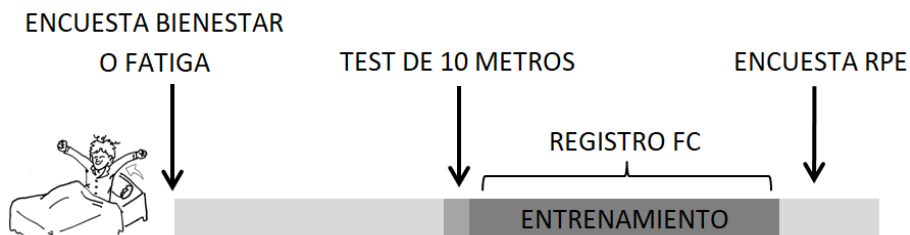


Figura 2.3 Protocolo diario de toma de datos.

## **2.4. Variables de estudio e instrumentos**

### **2.4.1. Carga de entrenamiento objetiva.**

El método para cuantificar la carga de entrenamiento a partir de la frecuencia cardiaca fue el TRIMP propuesto por Banister (1991) se calculó como se describe en la siguiente fórmula:

$$\text{TRIMP} = \text{Duración (mn)} \times (\text{Factor A} \times (\text{FC media} - \text{FC Reposo}) \times \exp(\text{Factor B} \times (\text{FC media} - \text{FC Reposo})).$$

Donde, el factor A y el factor B son constantes que en el caso de las deportistas mujeres es igual a 0,86 y 1,67 respectivamente.

A cada jugadora se le establecieron cinco zonas de intensidad en función de sus frecuencia cardiaca máxima. Se calculó el TRIMP de entrenamiento para cada una de las 5 zonas según la fórmula propuesta. Para el TRIMP de la sesión completa se tuvo en cuenta el sumatorio del TRIMP de las cinco zonas.

Los días que hubo irregularidades, como jugadoras que por lesión no finalizaron la sesión, no se incluyeron entre los datos utilizados.

Para el registro de la frecuencia cardíaca durante la sesión de entrenamiento se utilizaron 15 pulsómetros Polar Team 2©, (Polar Electro, Kempele, Finland) que se les proporcionaba a las jugadoras 5 minutos antes del comienzo de la sesión y eran devueltos al finalizar la misma.

### 2.4.2. Carga de entrenamiento subjetiva.

Para la carga de entrenamiento subjetiva se utilizó el método del ratio de esfuerzo percibido (RPE, rating of perceived exertion)(Foster et al., 2001).

Una vez finalizado el entrenamiento o partido, entre los 30 y 60 minutos posteriores, las jugadoras debían responder el cuestionario de Percepción Subjetiva de Esfuerzo en sus smartphones mediante el software online Typerform© (Typeform, Barcelona, España) de forma individual para evitar que las respuestas pudieran estar condicionadas por sus compañeras.

En el cuestionario (Tabla 2.6) propuesto y validado por Borg (1985) y modificado más tarde por Foster et al. (2001) se valora la intensidad de la sesión de 1 a 10.

Tabla 2.6 *Escala de Percepción Subjetiva de Esfuerzo*

¿Qué intensidad ha tenido el entrenamiento de hoy?	
0	Ninguna
1	Muy, muy suave
2	Suave
3	Moderada
4	Algo dura
5	Dura
6	
7	Muy dura
8	
9	
10	Máxima

Nota: tomada de Foster et al. (2001)

Para calcular la carga interna total se multiplicó el valor respondido por cada jugadora por el volumen en minutos de la sesión de entrenamiento (Foster et al., 2001; Haddad, Behm, Tabben, y Chamari, 2014), incluyendo el calentamiento, la vuelta a la calma y los intervalos de recuperación durante la sesión de entrenamiento.

### 2.4.3. Escala de Percepción de bienestar o fatiga.

Para calcular las variables de bienestar y fatiga se utilizaron las escalas propuestas por Hooper, Mackinnon, Howard, Gordon y Bachmann (1995) de fatiga, nivel de estrés, DOMS y calidad del sueño que autores como Haddad et al. (2014) la definen como la mejor herramienta calidad/precio para prevenir el sobreentrenamiento en una fase temprana.

Tabla 2.7 Escalas subjetivas de Hooper et al. (1995)

<b>Calidad del sueño</b>	<b>Estrés</b>
1-Muy, muy bueno	1- Muy, muy bajo
2-Muy bueno	2- Muy bajo
3-Bueno	3- Bajo
4-Medio	4- Medio
5-Malo	5- Alto
6-Muy malo	6- Muy alto
7-Muy, muy malo	7- Muy, muy alto
<b>Fatiga</b>	<b>Daño muscular</b>
1-Muy, muy alta	1- Muy, muy bajo
2-Muy alta	2- Muy bajo
3-Baja	3- Bajo
4-Media	4- Medio
5-Alta	5- Alto
6-Muy alta	6- Muy alto
7-Muy, muy alta	7- Muy, muy alto

*Nota:* tomada de Haddad et al. (2014).



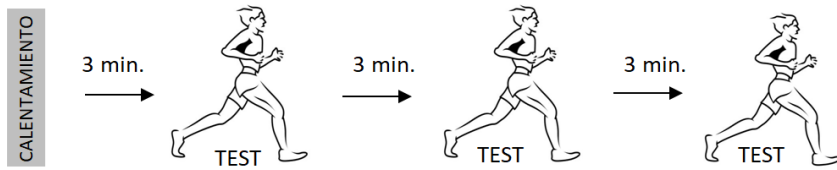
El cuestionario, dividido en cuatro preguntas independientes, que se presenta en la Tabla 2.7 fue completado por las jugadoras todos los días por la mañana antes de desayunar con sus smartphones mediante la aplicación Typeform© (Typerform, Barcelona, España).

#### **2.4.4. Test de velocidad.**

El test de velocidad consistió en 3 mediciones/repeticiones de la velocidad máxima en una distancia de 10 metros. El orden de cada jugadora durante el test fue siempre el mismo. El test siempre se realizó en césped artificial y con botas de tacos. Aquellas mediciones realizadas en césped natural o con zapatillas sin tacos fueron descartadas. El calentamiento tipo previo a las mediciones siempre fue el mismo y consistió en un calentamiento de movilidad articular incremental en cuanto a intensidad con una duración de 7 minutos. Previo a cada repetición cada jugadora tuvo un descanso completo de 3 minutos exactos (Figura 2.4). Para el análisis se tuvo en cuenta la mejor marca de las 3 realizadas para cada jugadora.

Las jugadoras fueron instruidas para comenzar la carrera pisando una línea a medio metro de distancia de las primeras fotocélulas. Además, las jugadoras fueron instruidas para no hacer ningún movimiento extraño con los brazos que pudiera cortar la primera fotocélula antes de pasar y por lo tanto que se falseara el resultado.

El tiempo de sprint fue medido mediante un par de fotocélulas inalámbricas Witty© (Microgate, Bolzano, Italia), con una precisión de  $\pm 0,4$  ms colocadas a una altura de 1 metro.



*Figura 2.4* Procedimiento en el tiempo del Test de 10m

## 2.5. Tratamiento de datos y análisis estadístico

La normalidad de las distribuciones de los datos fue comprobada mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov (en los casos con una  $n$  mayor de 50) y Saphiro-wilk (en los casos con una  $n$  entre 30 y 50).

Para conocer las diferencias en muestras relacionadas, se utilizó la prueba paramétrica Anova de medidas repetidas y la pruebas no paramétricas de Friedman con su correspondiente prueba post-hoc de Wilcoxon por pares.

Para conocer las diferencias en muestras independientes, se utilizó la prueba paramétrica T para muestras independientes y la prueba no paramétrica U de Mann Whitney en caso de distribuciones normales y no normales respectivamente.

Para conocer la asociación entre las variables estudiadas se realizó la correlación bivariada de Spearman.

La magnitud de la correlación fue determinada como insignificante:  $r < 0,1$ ; baja: 0,1-0,3; moderada: 0,3-0,5; alta: 0,5-0,7; muy alta: 0,7-0,9; extremadamente alta:  $> 0,9$ ; y perfecta: 1 (Hopkins, Marshall, Batterham, y Hanin, 2009).

En cuanto al tamaño del efecto, en las distintas comparaciones realizadas mediante pruebas no paramétricas, de acuerdo con Cohen (1992) se consideró un tamaño del efecto pequeño ( $r=0,1$ ), mediano ( $r=0,3$ ) y grande ( $r=0,5$ ).

El tamaño del efecto en las pruebas paramétricas, en las que se utilizó el valor  $\eta^2$ , se consideró pequeño ( $\eta^2 = 0,01$ ), mediano ( $\eta^2 = 0,06$ ) y grande ( $\eta^2 = 0,14$ ) de acuerdo con Cohen (1988).

Para las variables con distribución normal sobre las que se utilizaron pruebas paramétricas se reportó la media (M) como estadístico de tendencia central junto a la desviación típica (SD) como estadístico de dispersión.

Para las variables con distribución no normal sobre las que se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas se reportó la mediana (Mdn), como estadístico de tendencia central, junto al rango intercuartil (IQR) (diferencia entre el cuartil 1 y el 3), como estadístico de dispersión.

Todos los análisis estadísticos fueron desarrollados usando el SPSS para Windows, versión 20 (SPSS Inc., Chicago, IL, Estados Unidos).

### **3. Resultados y desarrollo argumental**

#### **3.1. Resultados relacionados con la carga de entrenamiento interna**

##### **3.1.1. Volumen de entrenamiento según el día.**

Tras comprobar que la distribución de la variable de volumen de entrenamiento no era normal se procedió a la realización de la prueba de Friedman para muestras relacionadas.

Se realizó una comparación del volumen de entrenamiento entre los distintos tipos días y se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,01$ ). Para conocer entre qué días existían diferencias se realizó la prueba post hoc de Wilcoxon por pares. Al establecerse cinco comparaciones para cada día se aplicó el ajuste de Bonferroni considerando que existían diferencias significativas cuando  $p < 0,01$ .

El volumen de entrenamiento (minutos) fue significativamente mayor el día de partido (Mdn [IQR] = 112 [96-114]) que:

-el día post partido (Mdn [IQR] = 68 [65-74]),  $T=40,50$ ,  $p < 0,01$ ,  $r=-0,86$ , con un tamaño del efecto grande.

-el cuarto día previo al partido (Mdn [IQR] = 88 [85-94]),  $T=1100,50$ ,  $p < 0,01$ ,  $r=-0,61$ , con un tamaño del efecto grande.

-el tercer día previo al partido (Mdn [IQR] = 80 [75-88]),  $T=323$ ,  $p < 0,01$ ,  $r=-0,78$ , con un tamaño del efecto grande.

-el segundo día previo al partido (Mdn [IQR] = 78 [71-80]),  
T=135,  $p<0,01$ ,  $r=-0,84$ , con un tamaño del efecto grande.

-el día previo al partido (Mdn [IQR] = 72 [69-75]),  
T=61,50,  $p<0,01$ ,  $r=-0,85$ , con un tamaño del efecto grande.

El volumen de entrenamiento (minutos) fue significativamente menor el día postpartido que:

-el cuarto día previo al partido, T=338,  $p<0,01$ ,  $r=-0,76$ , con un tamaño del efecto grande.

-el tercer día previo al partido, T= 530,  $p<0,01$ ,  $r=-0,71$ , con un tamaño del efecto grande.

-el segundo día previo al partido, T= 1227,5,  $p<0,01$ ,  $r=-0,49$ . con un tamaño del efecto mediano.

Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas con el día previo al partido.

El volumen de entrenamiento fue significativamente mayor el cuarto día previo al partido que:

-el tercer día previo a partido, T=2390,  $p<0,01$ ,  $r=-0,44$ , con un tamaño del efecto mediano.

-el segundo día previo al partido, T=586,  $p<0,01$ ,  $r=-0,78$ , con un tamaño del efecto grande.

-el día previo al partido, T=589,  $p<0,01$ ,  $r=-0,74$ , con un tamaño del efecto grande.

El volumen de entrenamiento subjetivo fue significativamente mayor el tercer día previo al partido que:

-el segundo día previo al partido,  $T=2083$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,45$ , con un tamaño del efecto mediano.

-el día previo al partido,  $T=146$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,84$ , con un tamaño del efecto grande.

El volumen de entrenamiento fue significativamente mayor el segundo día previo al partido que el día previo al partido,  $T=2383$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,39$ , con un tamaño del efecto grande.

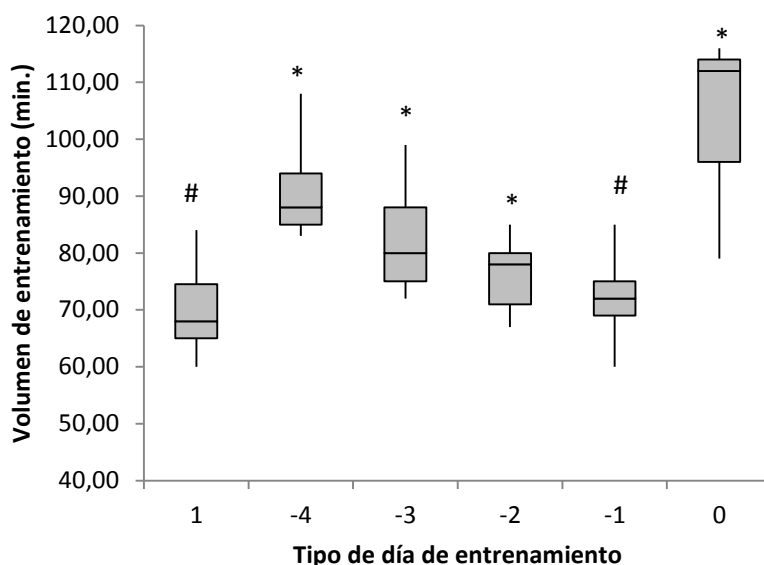


Figura 3.1 Volumen de entrenamiento (min.) los distintos tipos de día

—Mediana. ■ 25% - 75%. | Percentiles 10 y 90

\*Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con todos los demás días.

#Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con los días -4,-3,-2 y 0.

### **3.1.2. Carga de entrenamiento objetivo según el día.**

Tras comprobar que la distribución de la variable del TRIMP (carga de entrenamiento objetivo) era normal todos los tipos de día de entrenamiento se procedió a la realización de la prueba Anova de medidas repetidas en el que se aplicó un ajuste de intervalo de confianza de Bonferroni para la comparación entre los distintos niveles.

El test de esfericidad de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad no se cumple para el efecto del TRIMP ( $\chi^2(14)=167,37$ ,  $p<0,05$ ); por tanto los grados de libertad se corrigieron con la estimación de esfericidad de Greenhouse-Geiser ( $\epsilon=.47$ ).

Se encontraron diferencias significativas, con un tamaño del efecto grande (Cohen, 1988), del TRIMP los distintos tipos de día,  $F(2.35,194.77)=323,10$ ,  $p<0,01$ ,  $\eta^2p =0,80$ .

En cuanto a las comparaciones por pares existen diferencias significativas entre el TRIMP de todos los días, excepto entre el cuarto y el tercer día previo a partido.

El TRIMP fue significativamente mayor el día de partido ( $M=267,57$ ,  $SD=70,34$ ) que:

-el día post partido ( $M=89,34$ ,  $SD=25,81$ ),  $t(83)=23,54$ ,  $p<0,01$ .

-el cuarto día previo al partido ( $M=131,70$ ,  $SD=35,60$ ),  $t(83)=23,61$ ,  $p<0,01$ .



-el tercer día previo al partido ( $M=125,74$ ,  $SD=28,82$ ),  $t(83)=22,17$ ,  $p<0,01$ .

-el segundo día previo al partido ( $M=99,32$ ,  $SD=23,93$ ),  $t(83)=18,40$ ,  $p<0,01$ .

-el día previo al partido ( $M=87,39$ ,  $SD=20,21$ ),  $t(83)=17,07$ ,  $p<0,01$ .

El TRIMP fue significativamente menor el día postpartido que:

-el cuarto día previo al partido,  $t(83)=-10,40$ ,  $p<0,01$ .

-el tercer día previo al partido,  $t(83)=9,90$ ,  $p<0,01$ .

Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas con el segundo día previo a partido y con el día previo al partido.

El TRIMP fue significativamente mayor el cuarto día previo al partido que:

-el segundo día previo al partido,  $t(83)=7,56$ ,  $p<0,01$ .

-el día previo al partido,  $t(83)=40,33$ ,  $p<0,01$ .

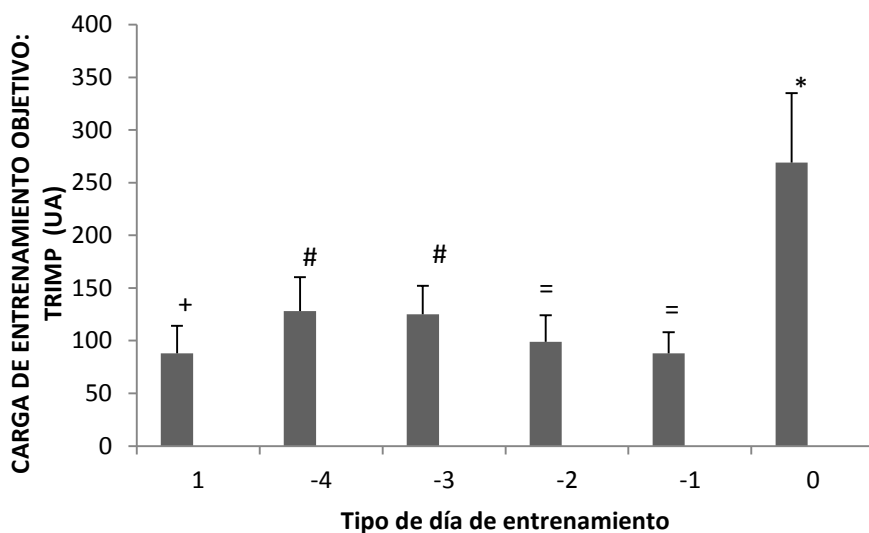
No se encontraron diferencias significativas con el tercer día previo a partido.

El TRIMP fue significativamente mayor el tercer día previo al partido que:

-el segundo día previo al partido,  $t(83)=7,54$ ,  $p<0,01$ .

-el día previo al partido,  $t(83)=-11,07$ ,  $p<0,01$ .

El TRIMP fue significativamente mayor el segundo día previo al partido que el día previo al partido,  $t(83)=3,90$ ,  $p<0,05$ .



*Figura 3.2 Media (SD) del TRIMP (UA) los distintos tipos de día*

\*Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con todos los demás días.

#Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con los días 1,-2-1 y 0.

=Diferencias significativas ( $p<0,05$ ) con todos los días excepto el 1.

+Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con los días -4,-3 y 0.

### 3.1.3. Carga de entrenamiento subjetivo según el día.

Tras comprobar que la distribución de la variable de carga de entrenamiento subjetivo (Índice de Foster\*volumen) no era normal se procedió a la realización de la prueba de Friedman para muestras relacionadas.

Se realizó una comparación de la carga de entrenamiento entre los distintos tipos días y se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,01$ ). Para conocer entre qué días existían diferencias se realizó la prueba post hoc de Wilcoxon por pares. Al establecerse cinco comparaciones para cada día se aplicó el ajuste de Bonferroni considerando que existían diferencias significativas cuando  $p < 0,01$ .

La carga de entrenamiento subjetiva fue significativamente mayor el día de partido (Mdn [IQR]=985[799-1120]) que:

- el día post partido (Mdn [IQR]=223[195-267]),  $T=111$ ,  $p < 0,01$ ,  $r=-0,87$ , con un tamaño del efecto grande.

- el cuarto día previo al partido (Mdn [IQR]=450[340-588]),  $T=111$ ,  $p < 0,01$ ,  $r=-0,84$ , con un tamaño del efecto grande.

- el tercer día previo al partido (Mdn [IQR]=450[375-521]),  $T=50$ ,  $p < 0,01$ ,  $r=-0,86$ , con un tamaño del efecto grande.

- el segundo día previo al partido (Mdn [IQR]=255[156-320]),  $T=14$ ,  $p < 0,01$ ,  $r=-0,86$ , con un tamaño del efecto grande.

-el día previo al partido (Mdn [IQR]=255[157-277]),  $T=2$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,87$ , con un tamaño del efecto grande.

La carga de entrenamiento subjetivo fue significativamente menor el día postpartido que:

-el cuarto día previo al partido,  $T=107$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,83$ , con un tamaño del efecto grande.

-el tercer día previo al partido,  $T= 258,5$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,78$ , con un tamaño del efecto grande.

-el segundo día previo al partido,  $T= 1718$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,56$ . con un tamaño del efecto grande.

Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas con el día previo al partido.

La carga de entrenamiento subjetivo fue significativamente mayor el cuarto día previo al partido que:

-el tercer día previo a partido  $T=2683$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,26$ , con un tamaño del efecto pequeño.

-el segundo día previo al partido  $T=248$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,81$ , con un tamaño del efecto grande.

-el día previo al partido  $T=58$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,84$ , con un tamaño del efecto grande.

La carga de entrenamiento subjetivo fue significativamente mayor el tercer día previo al partido que

-el segundo día previo al partido  $T=525$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,74$ , con un tamaño del efecto grande.

-el día previo al partido  $T=16$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,86$ , con un tamaño del efecto grande.

No se encontraron diferencias significativas en la carga de entrenamiento subjetivo entre el segundo día previo al partido y el día previo al partido.

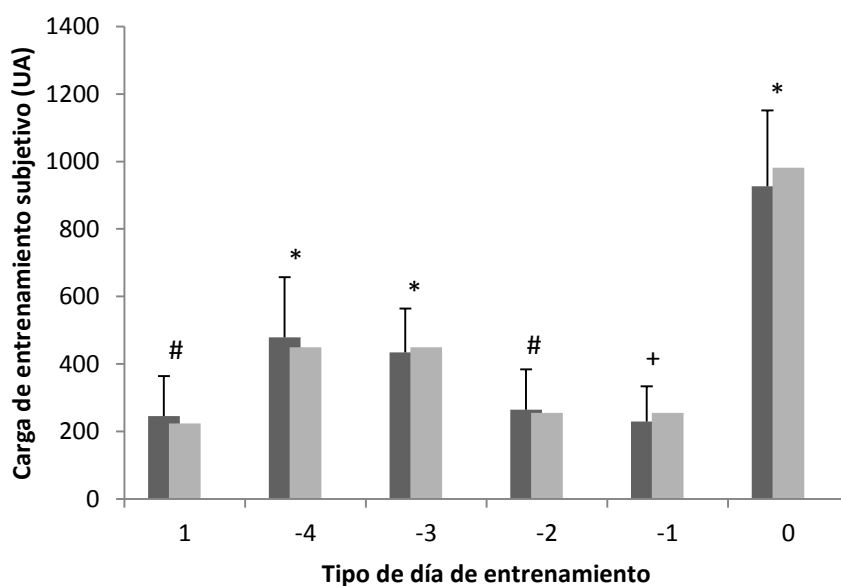


Figura 3.3 Carga de entrenamiento subjetivo (UA) los distintos tipos de día  
 ■ Media + Desviación típica. ■ Mediana.

\*Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con todos los demás días.

#Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con todos los días excepto el día -1.

+Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con todos los días excepto el día 1 y -2.

### 3.1.4. Carga objetiva de partido y de entrenamiento compensatorio.

Tras comprobar que la distribución de la variable del TRIMP (carga de entrenamiento objetivo) se procedió a la realización de la prueba T para muestras independientes.

La carga de partido objetiva, medida mediante el TRIMP, de las jugadoras titulares fue significativamente superior ( $M=275,48$ ,  $SD=69,8$ ) a la carga de entrenamiento de jugadoras suplentes para compensar el esfuerzo no realizado en el partido ( $M=139,49$ ,  $SD=31,1$ ),  $t(61)=12,64$ ,  $p<0,01$ ,  $r=0,85$ , con un tamaño del efecto grande.

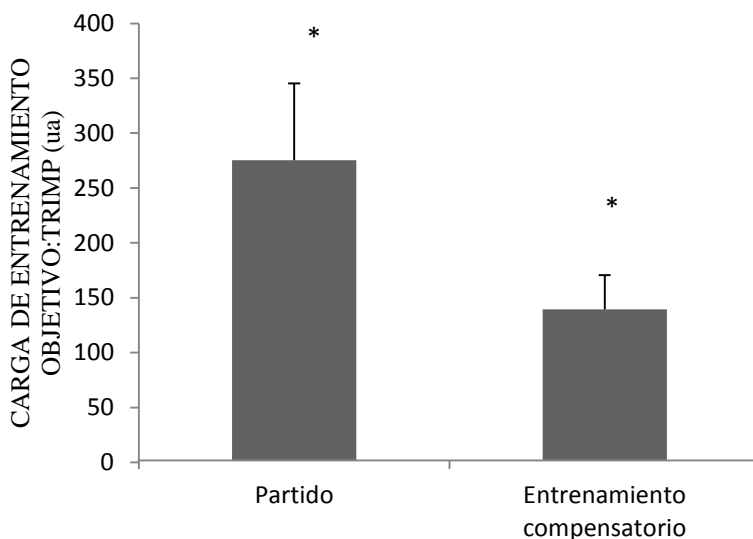


Figura 3.4 Media (SD) del TRIMP del partido y entrenamiento compensatorio

\*Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) entre los dos días

### 3.1.5. Carga subjetiva de partido y de entrenamiento compensatorio.

Al conocer que la distribución de la variable de carga de entrenamiento subjetivo (Índice de Foster\*volumen) no era normal se procedió a la realización de la prueba de U de Mann Whitney para muestras independientes.

La carga de partido subjetiva, medida mediante el índice de Foster, de las jugadoras titulares fue significativamente superior (Mdn[IQR]=1071[893,5-1140]) a la carga de entrenamiento de las jugadoras suplentes para compensar el esfuerzo no realizado en el partido (Mdn[IQR]=392[319,5-525]),  $U=49$ ,  $z=-5,29$ ,  $p < 0,01$ ,  $r=-0,58$ , con un tamaño del efecto grande.

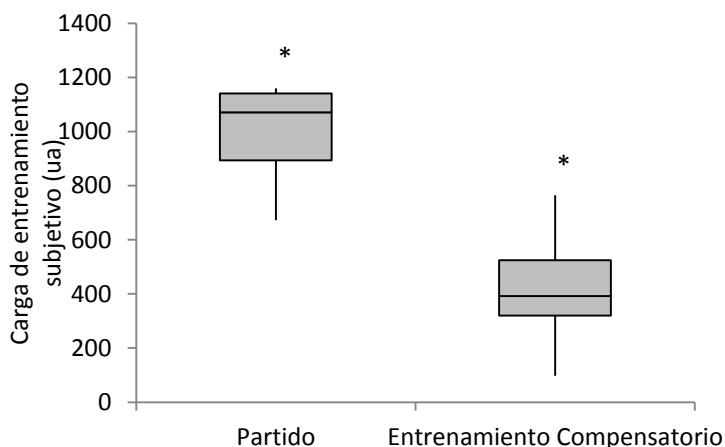


Figura 3.5 Carga de entrenamiento subjetivo (RPE) partido y compensatorio

—Mediana. ■ 25% - 75%. | Percentiles 10 y 90

\*Diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) entre grupos.

### 3.1.6. Carga de entrenamiento objetiva en semana con y sin competición.

Para la realización de la comparación de la carga de entrenamiento en la semana de competición con la carga de entrenamiento en la semana sin competición se tuvieron en cuenta exclusivamente los entrenamientos, discriminando así la carga del partido en la semana de competición, con el objetivo de que el partido no alterase la carga semanal y conocer si había diferencia entre los entrenamientos en los dos tipos de semana.

Tras comprobar que las distribuciones de la variable de carga de entrenamiento objetivo (TRIMP) eran normales se procedió a la realización de la prueba T para muestras independientes.

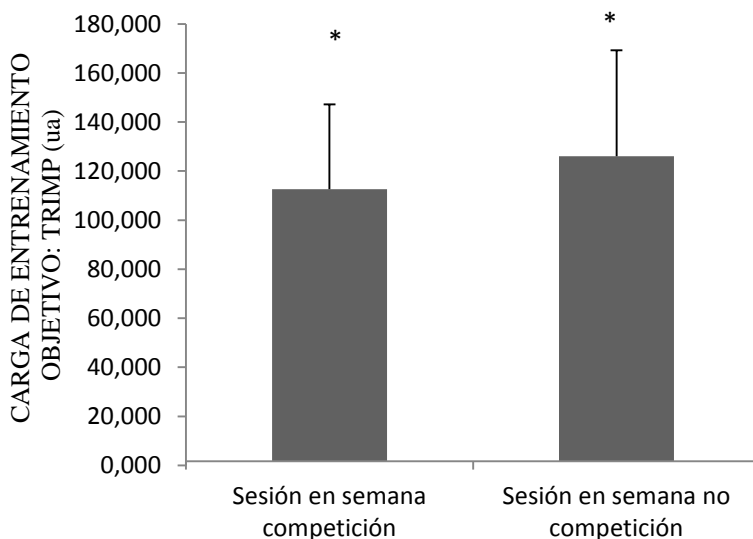


Figura 3.6 Media (SD) del TRIMP de los dos tipos de semana

\*Diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) entre las dos semanas.



La carga de entrenamiento objetiva media por sesión en semana no competitiva, medida mediante el TRIMP, fue significativamente superior ( $M=126,07$ ,  $SD=34,61$ ) a la carga de entrenamiento objetiva media por sesión en la semana que hubo competición ( $M=112,55$ ,  $SD=43,19$ ),  $t(526)=3,55$ ,  $p<0,01$ ,  $r=0,16$ ; con un tamaño del efecto pequeño.

### 3.1.7. Carga de entrenamiento subjetiva en semana con y sin competición.

Igual que en el apartado anterior se tuvieron en cuenta exclusivamente los entrenamientos, discriminando así la carga del partido en la semana de competición, con el objetivo de que el partido no alterase la carga semanal y conocer si había diferencia entre los entrenamientos en los dos tipos de semana.

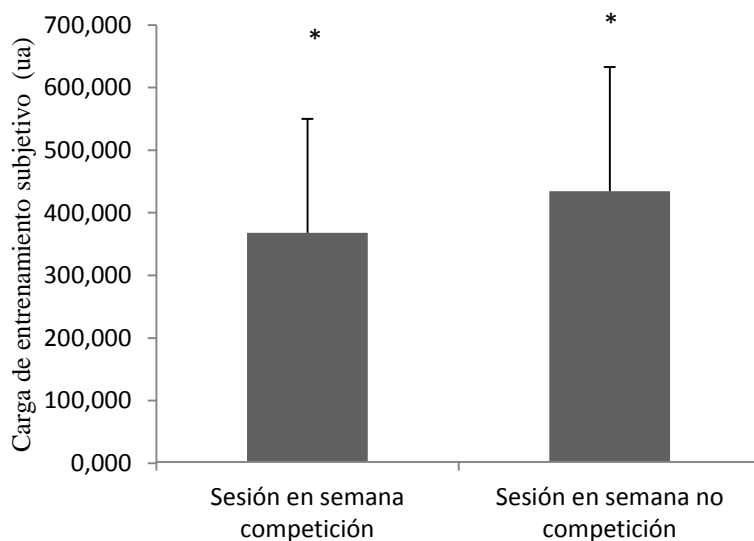


Figura 3.7 Media (SD) de la carga de entrenamiento subjetiva de los dos tipos de semana

\*Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) entre las dos semanas.

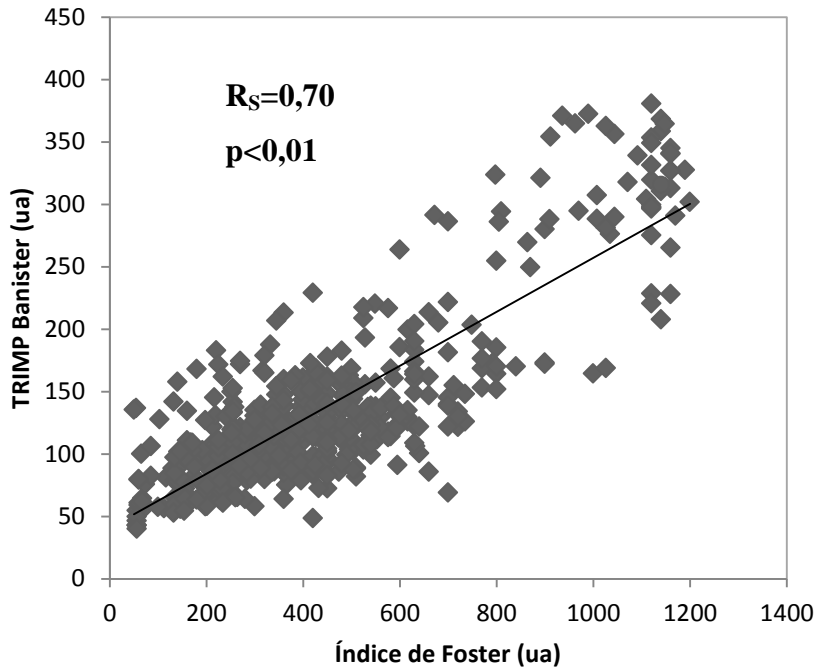
Tras comprobar que la distribución de la variable de carga de entrenamiento subjetivo (Foster\*volumen) era normal se procedió a la realización de la prueba T para muestras independientes.

La carga de entrenamiento subjetiva media por sesión en semana no competitiva, medida mediante el índice de Foster y el tiempo de entrenamiento, fue significativamente superior ( $M=434,49$ ,  $SD=181,94$ ) a la carga de entrenamiento subjetiva media por sesión en la semana que hubo competición ( $M=367,77$ ,  $SD=198,44$ ),  $t(450)=3,138$ ,  $p<0,01$ ,  $r=0,15$ ; con un tamaño del efecto pequeño.

### **3.1.8. Relación entre la carga de entrenamiento objetiva y subjetiva.**

Al conocer que la distribución de las variables de carga de entrenamiento objetiva (TRIMP de Banister) y la carga de entrenamiento subjetiva (RPE de Foster \*tiempo de entrenamiento) no tenía una distribución normal se procedió a la realización de la prueba correlación bivariada de Spearman para conocer si existía alguna la relación entre dichas variables.

Se obtuvo una correlación significativa positiva muy alta ( $RS=0,70$ ;  $p<0,01$ ) entre el TRIMP de Banister y la carga subjetiva obtenida a partir del índice de Foster.



*Figura 3.8* Gráfico de dispersión y línea de tendencia del TRIMP de Banister y el Índice de Foster

### **3.2. Resultados relacionados con la fatiga**

#### **3.2.1. Tiempo en test de 10m según el día.**

Tras comprobar que la distribución de la variable del Tiempo en test de 10 metros era normal los 3 tipos de día de entrenamiento se procedió a la realización de la prueba Anova de medidas repetidas en el que se aplicó un ajuste de intervalo de confianza de Bonferroni para la comparación entre los distintos niveles.

El test de esfericidad de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad no se cumple para el efecto del Tiempo en test de 10 metros ( $\chi^2(2)=80,60$ ,  $p<0,05$ ); por tanto los grados de libertad se corrigieron con la estimación de esfericidad de Greenhouse-Geiser ( $\epsilon=0,62$ ).

Se encontraron diferencias significativas del tiempo en el test de 10 metros los distintos tipos de día,  $F(1.24, 106,66)=14,68$ ,  $p<0,01$ ,  $\eta^2=0,15$ , con un tamaño del efecto grande.

En cuanto a las comparaciones por pares existen diferencias significativas entre el tiempo empleado en el test de 10 metros los tres tipos de día estudiados.

El tiempo empleado en el test de 10 metros fue significativamente mayor el día postpartido ( $M= 1791,8$  ms,  $SD=74,2$ ) que :

-el cuarto día previo al partido ( $M= 1783,8$  ms,  $SD=52,9$ ,  $t(86)=2$ ,  $p<0,05$ ).

-el tercer día previo al partido ( $M= 1772,3$  ms,  $SD=49,7$ ),  $t(86)=3,8$ ,  $p<0,01$ .

El tiempo empleado en el test de 10 metros fue mayor el cuarto día previo al partido que el tercer día previo al partido,  $t(86)=5,5$ ,  $p<0,01$ .

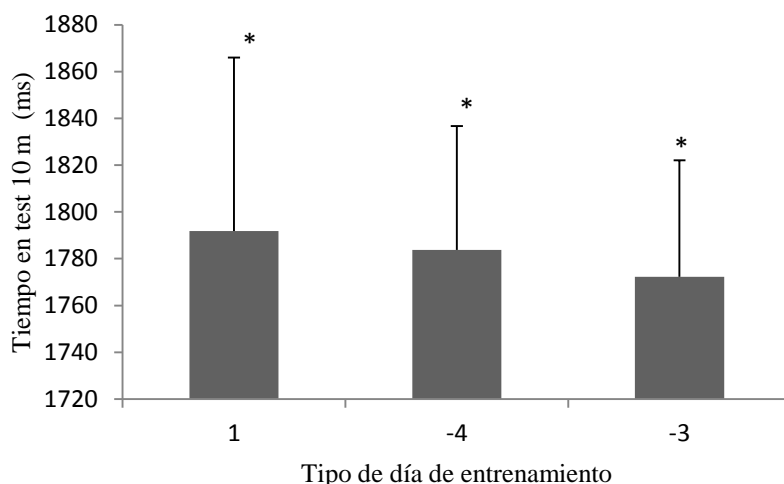


Figura 3.9 Media (SD) del tiempo empleado en el test de 10 metros

\*Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con todos los demás días.

### 3.2.2. Percepción de fatiga general según el día.

Tras comprobar que la distribución de la variable de percepción de fatiga no era normal se procedió a la realización de la prueba de Friedman para muestras relacionadas.

Se realizó una comparación de la percepción entre los distintos días y se encontraron diferencias significativas ( $p<0,01$ ). Para conocer entre qué días existían diferencias se realizó la prueba post hoc de Wilcoxon por pares. Al establecerse cinco comparaciones para cada día se aplicó el ajuste de Bonferroni considerando que existían diferencias significativas cuando  $p<0,01$ .

La percepción de fatiga general fue significativamente menor el día de partido ( $Mdn[IQR]=2[1-3]$ ) que:

-el día post partido ( $Mdn[IQR]=4[3-5]$ ),  $T=131,5$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,80$ , con un tamaño del efecto grande.

-el cuarto día previo al partido ( $Mdn[IQR]=3[2-3]$ ),  $T=366,5$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,65$ , con un tamaño del efecto grande.

-el tercer día previo al partido ( $Mdn[IQR]=2[2-3]$ ),  $T=508$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,48$ ; con un tamaño del efecto mediano.

-el segundo día previo al partido ( $Mdn[IQR]=3[2-3]$ ),  $T=247$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,58$ , con un tamaño del efecto grande.

-el día previo al partido ( $Md[IQR]=2[2-3]$ ),  $T=494$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,32$ . con un tamaño del efecto mediano.

La percepción de fatiga general fue significativamente mayor el día postpartido que:

-el cuarto día previo al partido,  $T=228$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,78$ , con un tamaño del efecto grande.

-el tercer día previo al partido,  $T= 45$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,80$ , con un tamaño del efecto grande.

-el segundo día previo al partido,  $T= 148$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,80$ , con un tamaño del efecto grande.

-el día previo al partido  $T=795$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,84$ , con un tamaño del efecto grande.

La percepción de fatiga general fue significativamente mayor el cuarto día previo al partido que:

-el día previo al partido  $T=689$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,48$ , con un tamaño del efecto mediano.

No se encontraron diferencias significativas entre el tercer día previo a partido y el segundo día previo al partido.

La percepción de fatiga general fue significativamente mayor el tercer día previo al partido que el día previo al partido  $T=905$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,29$ , con un tamaño del efecto pequeño.

No se encontraron diferencias significativas con el segundo día previo a partido.

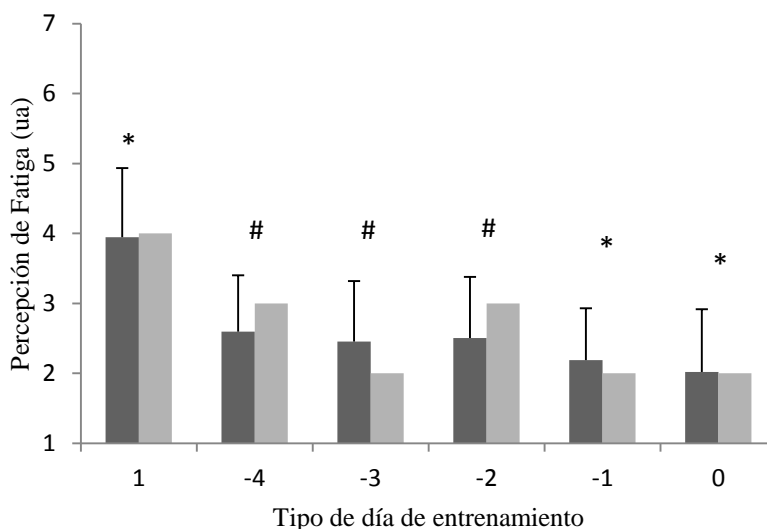


Figura 3.10 Percepción de fatiga general (UA) los distintos tipos de día

■ Media + Desviación típica. ■ Mediana.

\*Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con todos los demás días.

#Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con los días 1, -1 y 0.

La percepción de fatiga general fue significativamente mayor el segundo día previo al partido que el día previo a partido,  $T=307$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,45$ , con un tamaño del efecto mediano.

### **3.2.3. Percepción de la calidad del sueño según el día.**

Tras comprobar que la distribución de la variable de percepción de la calidad del sueño no era normal se procedió a la realización de la prueba de Friedman para muestras relacionadas.

Se realizó una comparación de la percepción entre los distintos días y se encontraron diferencias significativas ( $p<0,01$ ). Para conocer entre qué días existían diferencias se realizó la prueba post hoc de Wilcoxon por pares. Al establecerse cinco comparaciones para cada día se aplicó el ajuste de Bonferroni considerando que existían diferencias significativas cuando  $p<0,01$ .

La percepción de la calidad del sueño fue mejor (menores valores en la escala) el día post partido ( $Mdn [IQR]=3[1-3]$ ) que:

-el cuarto día previo al partido ( $Mdn[IQR]=2 [2-3]$ ),  $T=535$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,55$ , con un tamaño del efecto grande.

-el tercer día previo al partido ( $Mdn[IQR]=2[1-3]$ ),  $T=285$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,43$ , con un tamaño del efecto mediano.

-el segundo día previo al partido ( $Mdn[IQR]=2[1-3]$ ),  $T=744$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,26$ , con un tamaño del efecto pequeño.

-el día previo al partido ( $Mdn[IQR]=2[1-3]$ ),  $T=370$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,52$ , con un tamaño del efecto grande.



-el día de partido (Mdn[IQR]=2[1-3]),  $T=729.5$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,35$ , con un tamaño del efecto mediano.

La percepción de calidad de sueño fue mejor (menores valores en la escala) el día prepartido que:

-el segundo día previo al partido,  $T= 647.5$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,33$ , con un tamaño del efecto mediano.

-el día de partido  $T=810$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,27$ , con un tamaño del efecto pequeño.

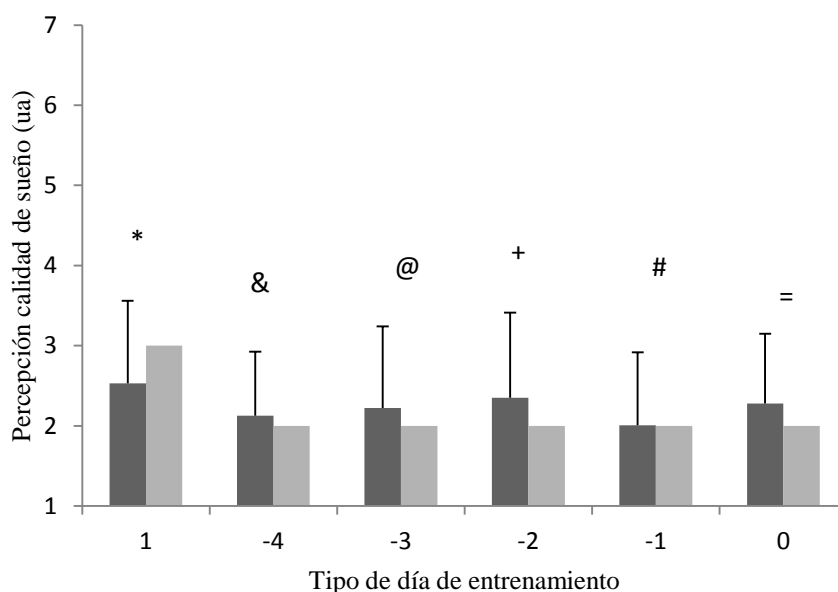


Figura 3.11: Percepción de calidad de sueño (UA) los distintos tipos de día

■ Media + Desviación típica. ■ Mediana.

\*Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con todos los demás días.

#Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con los días 1,-2 y 0.

=Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con 1 y -1.

+Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con los días 1,-4 y -1

& Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con los días 1 y -2

@Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con el día 1

La percepción de la calidad de sueño fue mejor (menores valores en la escala) el cuarto día previo a partido que el segundo día previo a partido,  $T=927$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,30$ , con un tamaño del efecto mediano.

Entre las demás comparaciones por pares no se encontraron diferencias significativas.

#### **3.2.4. Percepción de daño muscular según el día.**

Tras comprobar que la distribución de la variable de percepción de daño muscular era normal se procedió a la realización de la prueba de Friedman para muestras relacionadas.

Se realizó una comparación de la percepción de daño muscular entre los distintos días y se encontraron diferencias significativas ( $p<0,01$ ). Para conocer entre qué días existían diferencias se realizó la prueba post hoc de Wilcoxon por pares. Al establecerse cinco comparaciones para cada día se aplicó el ajuste de Bonferroni considerando que existían diferencias significativas cuando  $p<0,01$ .

La percepción de daño muscular fue significativamente menor el día de partido ( $Mdn[IQR]=2[1-3]$ ) que:

-el día post partido ( $Mdn[IQR]=4[3-4]$ ),  $T=35,5$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,83$ , con un tamaño del efecto grande.

-el cuarto día previo al partido ( $Mdn[IQR]=2[2-3]$ ),  $T=746$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,43$ , con un tamaño del efecto mediano.

-el tercer día previo al partido ( $Mdn[IQR]=2[2-3]$ ),  $T=558$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,38$ , con un tamaño del efecto mediano.

-el segundo día previo al partido ( $Mdn[IQR]=2[2-3]$ ),  $T=244,5$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,49$ , con un tamaño del efecto mediano.

-el día previo al partido ( $Mdn[IQR]=2[2-3]$ ),  $T=326,5$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,42$ , con un tamaño del efecto mediano.

La percepción de daño muscular fue significativamente mayor el día postpartido que:

-el cuarto día previo al partido,  $T=85$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,75$ , con un tamaño del efecto grande.

-el tercer día previo al partido,  $T=187,5$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,72$ , con un tamaño del efecto grande.

-el segundo día previo al partido,  $T=202$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,72$ , con un tamaño del efecto grande.

-el día previo al partido  $T=94,5$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,79$ , con un tamaño del efecto grande.

La percepción de daño muscular fue significativamente mayor el cuarto día previo al partido que el día previo al partido  $T=1247$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,22$ , con un tamaño del efecto pequeño. No se encontraron diferencias significativas del cuarto día con el tercer día previo a partido y con el segundo día previo al partido.

No se encontraron diferencias significativas entre el tercer día previo a partido, con el segundo, y el día previo a partido,

La percepción de daño muscular fue significativamente mayor el segundo día previo al partido que el día previo a partido,  $T=553$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,23$ , con un tamaño del efecto pequeño.

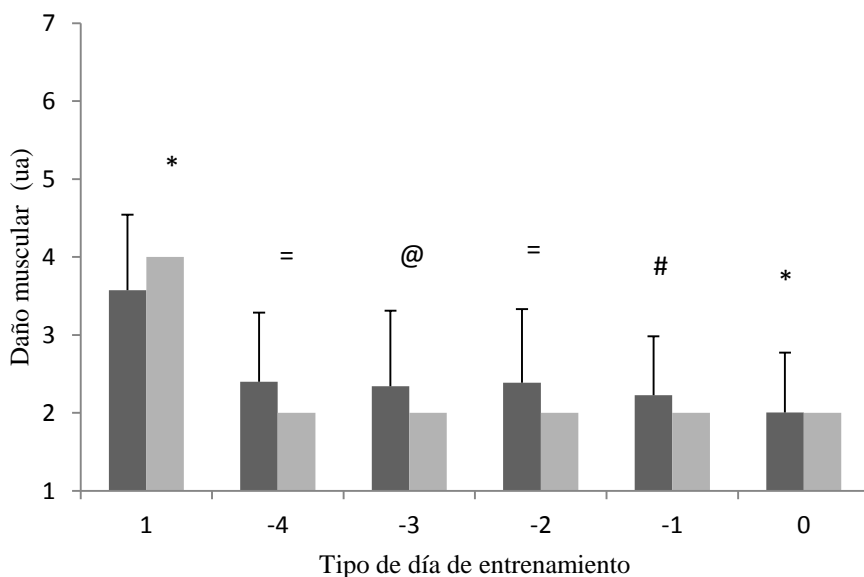


Figura 3.12 Percepción de daño muscular (UA) los distintos tipos de día  
 ■ Media + Desviación típica. ■ Mediana.

\*Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con todos los demás días.

#Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con todos los días excepto el -3.

=Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con los días -1,0 y 1.

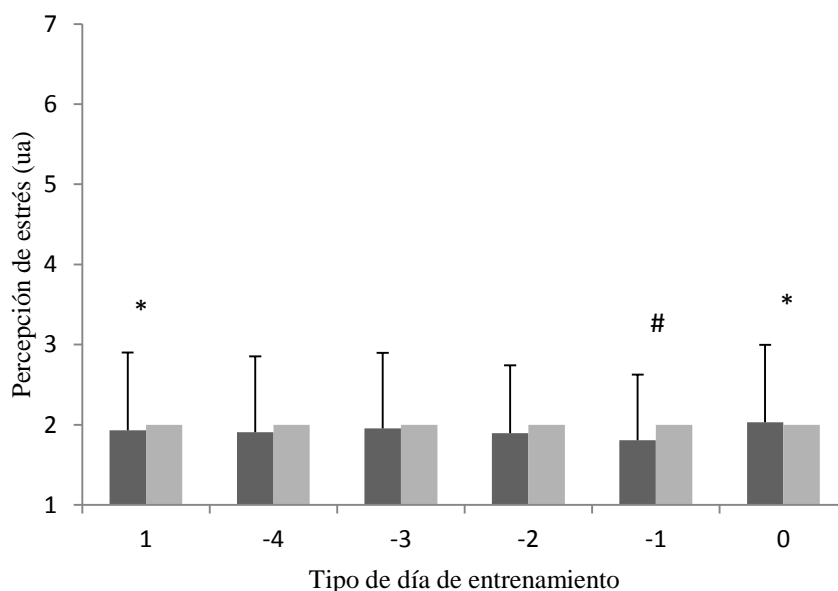
@Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con los días 1 y 0.

### 3.2.5. Percepción de estrés según el día.

Tras comprobar que la distribución de la variable de percepción d estrés no era normal se procedió a la realización de la prueba de Friedman para muestras relacionadas.

Se realizó una comparación de la percepción de estrés entre los distintos días y se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,01$ ). Para conocer entre qué días existían diferencias se realizó la prueba post hoc de Wilcoxon por pares. Al establecerse cinco comparaciones para cada día se aplicó el ajuste de Bonferroni considerando que existían diferencias significativas cuando  $p < 0,01$ .

La percepción del estrés fue mayor el día de partido ( $Mdn[IQR]=2[1-3]$ ) que el día previo al partido ( $Mdn[IQR]=2[1-2]$ ),  $T=274$ ,  $p < 0,01$ ,  $r = -0,42$ , con un tamaño del efecto mediano.



*Figura 3.13* Percepción de estrés (UA) los distintos tipos de día.

■ Media + Desviación típica. ■ Mediana.

\*Diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) con el día -1.

#Diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) con el día 1 y 0.

La percepción del estrés fue mayor el día de post partido (Mdn[IQR]=2[1-3]) que el día previo al partido,  $T=280,5$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,24$ , con un tamaño del efecto pequeño.

No se encontraron diferencias significativas al comparar el resto de días entre sí.

### **3.2.6. Índice de Hooper según el día.**

Tras comprobar que la distribución de la variable índice de Hooper era normal todos los tipos de día de entrenamiento se procedió a la realización de la prueba Anova de medidas repetidas en el que se aplicó un ajuste de intervalo de confianza de Bonferroni para la comparación entre los distintos niveles.

El test de esfericidad de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad no se cumple para el efecto del índice de Hooper ( $\chi^2(14)=58,121$ ,  $p<0,05$ ); por tanto, los grados de libertad se corrigieron con la estimación de esfericidad de Greenhouse-Geiser ( $\varepsilon=0,81$ ).

Se encontraron diferencias significativas del índice de Hooper los distintos tipos de día,  $F(4.03, 407,34)=91,53$ ,  $p<0,01$ ,  $\eta^2_p=0,47$ , con un tamaño del efecto grande.

En cuanto a las comparaciones por pares no se encontraron diferencias significativas del índice de Hooper los días:

-cuarto día y tercer día previo a partido.

-cuarto día y segundo día previo a partido.

-tercer día y segundo día previo a partido.

-día partido y prepartido.

El índice de Hooper fue significativamente menor (mejor estado de bienestar) el día de partido ( $M=8,53$ ,  $SD=2,64$ ) que:

-el día post partido ( $M=12,32$ ,  $SD=2,99$ ),  $t(101)=-14,21$ ,  $p<0,01$ .

-el cuarto día previo al partido ( $M=9,64$ ,  $SD=2,47$ ),  $t(101)=-5,92$ ,  $p<0,01$ .

-el tercer día previo al partido ( $M=9,27$ ,  $SD=2,99$ ),  $t(101)=-3,49$ ,  $p<0,05$ .

-el segundo día previo al partido ( $M=9,48$ ,  $SD=2,98$ ),  $t(101)=-4,78$ ,  $p<0,01$ .

El índice de Hooper fue significativamente mayor (estado de bienestar menor) el día postpartido que:

-el cuarto día previo al partido,  $t(101)=-13,03$ ,  $p<0,01$ .

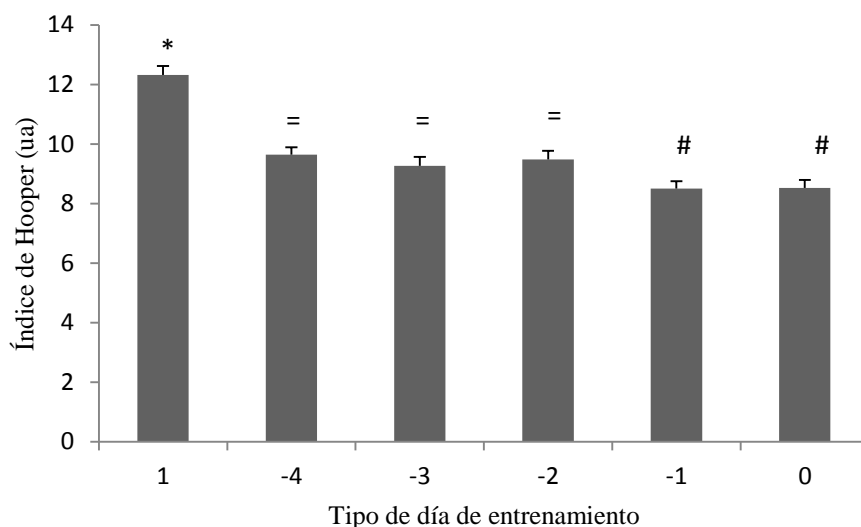
-el tercer día previo al partido,  $t(101)=12,81$ ,  $p<0,01$ .

-el segundo día previo al partido,  $t(101)=11,99$ ,  $p<0,01$ .

-el día previo al partido ( $M=8,50$ ,  $SD=2,56$ ),  $t(101)=16,55$ ,  $p<0,01$ . El índice de Hooper fue significativamente mayor (estado de bienestar menor) el cuarto día previo al partido que el día previo al partido,  $t(101)=5,92$ ,  $p<0,01$ .

El índice de Hooper fue significativamente mayor (estado de bienestar menor) el tercer día previo al partido que el día previo al partido,  $t(101)=3,49$ ,  $p<0,05$ .

El índice de Hooper fue significativamente mayor (estado de bienestar menor) el segundo día previo al partido que el día previo al partido,  $t(101)=4,95$ ,  $p<0,01$ .



*Figura 3.14* Media (SD) del índice de Hooper (UA) los distintos tipos de día.

\*Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con todos los demás días.

#Diferencias significativas ( $p<0,01$ ) con los días 1, -4, -3 y -2.

=Diferencias significativas ( $p<0,05$ ) con los días -1, 0 y 1.



### 3.2.7. Variables relacionadas con la fatiga de titulares y suplentes.

#### 3.2.7.1. Tiempo relativo en test de 10 metros.

Se comparó el estado de bienestar o fatiga mediante las variables relacionadas con la fatiga el día menos 4 de las jugadoras que venían de jugar partido y hacer entrenamiento regenerativo con las que venían de no jugar partido y hacer entrenamiento compensatorio.

Tras comprobar que la distribución del tiempo relativo (diferencia de tiempo respecto a la mejor marca personal) en el test de 10 metros el día menos 4 era normal se procedió a la realización de la prueba T para muestras independientes.

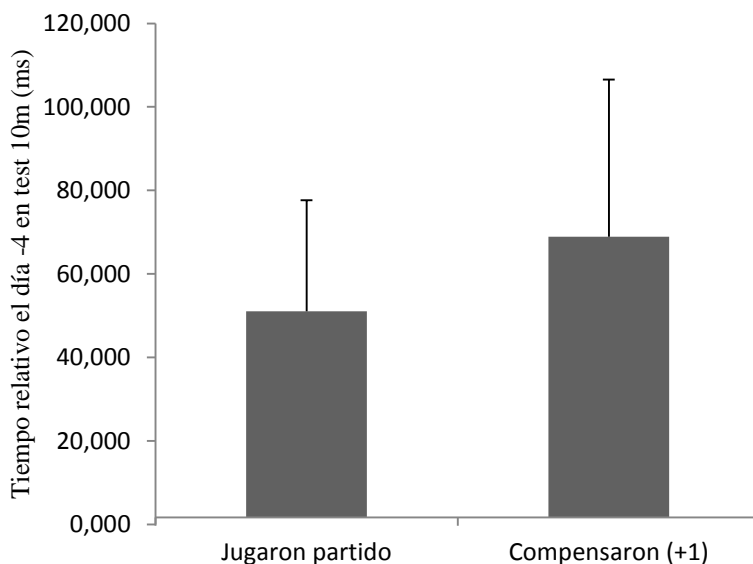


Figura 3.15 Media del tiempo relativo (SD) en test de 10 m medido el día -4 de los jugadores que jugaron partido y los que compensaron.

El tiempo relativo, en el test de 10 metros, de las jugadoras que no jugaron y compensaron al día siguiente del partido tendió a ser superior ( $M=68,91\text{ms}$ ,  $SD=37,61$ ) al tiempo relativo de las jugadoras que jugaron partido e hicieron compensatorio al día siguiente ( $M=51,08\text{ms}$ ,  $SD=26,60$ ),  $t(45)=-1,89$ ,  $p=0,06$ ,  $r=0,29$ ; con un tamaño del efecto que tiende a mediano.

### ***3.2.7.2. Variables de percepción de Hooper.***

Al conocer que la distribución de la variable índice de Hooper tenía una distribución normal el día menos 4 se procedió a la realización de la prueba de T para muestras independientes.

No se hallaron diferencias significativas del índice de Hooper el día menos 4 entre las jugadoras que jugaron partido y las que realizaron el entrenamiento compensatorio el día postpartido.

Al conocer que la distribución de las variables Percepción de fatiga, calidad del sueño, daño muscular y estrés no tenían una distribución normal el día menos 4 se procedió a la realización de la prueba de U de Mann Whitney para muestras independientes.

La fatiga general de las jugadoras medida el día menos 4 de las jugadoras que jugaron partido tendió a ser superior ( $Mdn [IQR]=3[2-3]$ ) a la fatiga general de las jugadoras que realizaron entrenamiento para compensar al día siguiente del partido ( $Mdn[IQR]=2[2-3]$ ),  $U=304$ ,  $z=-1,813$ ,  $p=0,07$ ,  $r=-0,25$ , con un tamaño del efecto pequeño.

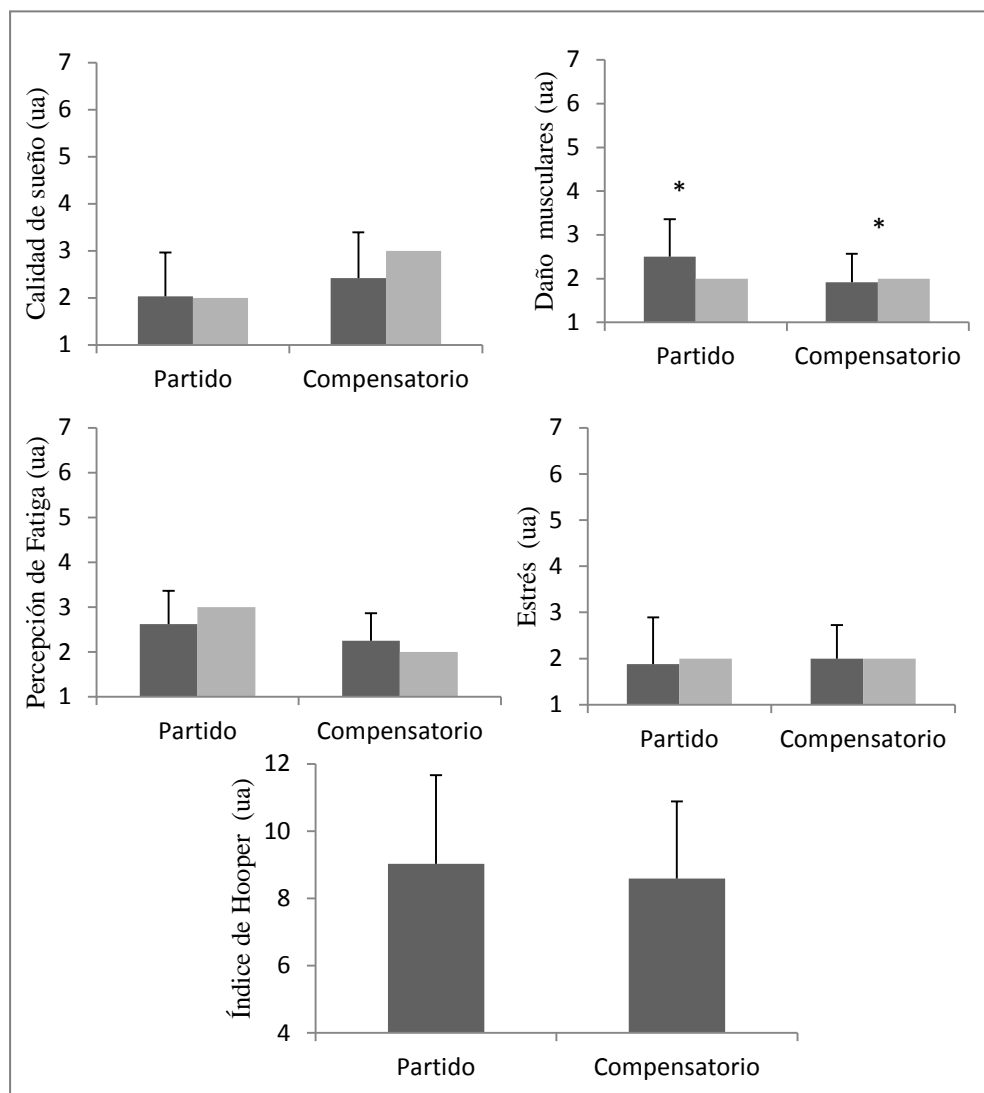


Figura 3.16 Percepción de fatiga, de daño muscular, de calidad de sueño, de estrés e índice de Hooper el día -4.

■ Media + Desviación típica. ■ Mediana.

\*Diferencias significativas ( $p < .01$ ).

El daño muscular el día menos 4 de las jugadoras que jugaron partido fue significativamente superior ( $Mdn[IQR]=2[2-3]$ ) al daño

muscular de las jugadoras que realizaron entrenamiento para compensar al día siguiente del partido ( $Mdn[IQR]=2[1-3]$ ),  $U=259$ ,  $z=-2,561$ ,  $p<0,01$ ,  $r=-0,35$ ), con un tamaño del efecto mediano.

No se encontraron diferencias significativas entre el estrés y la calidad del sueño medida el día menos 4 entre las jugadoras que jugaron partido y las que realizaron entrenamiento compensatorio.

### 3.2.8. Relación entre las variables relacionadas con la fatiga.

Al conocer que la distribución de las variables el día menos 4, relacionadas con la fatiga, no tenía una distribución normal se procedió a la realización de la prueba correlación bivariada de Spearman para conocer si existía alguna la relación entre variables.

Tabla 3.1 *Correlación entre variables relacionadas con la fatiga el día -4*

	<b>Tiempo en test 10m</b>	<b>Fatiga General</b>	<b>Calidad de sueño</b>	<b>Daño muscular</b>	<b>Estrés</b>
<b>Tiempo en test 10m</b>	1,000	,099*	,267**	,067	,257**
<b>Fatiga General</b>	,099*	1,000	,310**	,660**	,307**
<b>Calidad de sueño</b>	,267**	,310**	1,000	,247**	,566**
<b>Daño muscular</b>	,067	,660**	,247**	1,000	,316**
<b>Estrés</b>	,257**	,307**	,566**	,316**	1,000

\*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\*. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

En cuanto a las relaciones más representativas se obtuvo una correlación significativa positiva alta ( $RS= 0,660$ ;  $p<0,01$ ) entre el

daño muscular y la fatiga general y entre el estrés y la calidad del sueño ( $RS = 0,566$ ;  $p < 0,01$ ).

Las demás correlaciones significativas entre variables se muestran en la Tabla 3.1.

### **3.3. Desarrollo argumental en relación a la carga de entrenamiento interna**

#### **3.3.1. Carga de entrenamiento interna según el día.**

El estudio de Stagno et al. (2007) realizado durante el periodo de competición en un equipo de hockey, deporte colectivo similar al fútbol en cuanto esfuerzo, número de jugadores y dimensiones del terreno de juego, estableció que la carga de entrenamiento medida mediante un TRIMP modificado del de Banister era más alta el día de partido ( $355\pm60$ ) que los días de entrenamiento ( $236\pm41$ ). Esto indica que los jugadores reciben una dosis de entrenamiento más alta durante la semana en la competición, idea que va en la línea de investigaciones previas (Reilly y Borrie, 1992; Reilly y Seaton, 1990).

Así mismo los resultados de este trabajo reflejan que el partido, es el momento de la semana de competición donde las jugadoras reciben más carga de entrenamiento interna. Tanto es así que estudios como el de Ritchie, Hopkins, Buchheit, Cordy, y Bartlett (2016), realizado en fútbol australiano, expone que durante el periodo competitivo el 50% total de la carga (TRIMP) que reciben los jugadores ocurre durante el partido y el 50% restante durante los entrenamientos.

Por otra parte, En un estudio realizado con jugadoras de fútbol semiprofesional, se comparó la carga acumulada de las jugadoras durante la semana con la carga del partido, encontrando que la suma de la carga interna a partir de los entrenamientos semanales era tan solo un 144% (TRIMP Edwards) y 158% (RPE) más alta que la de partido, a pesar de ser el sumatorio de varios días (Zurutuza et al., 2017).

En la publicación de Jeong et al. (2011) se reporta la carga medida mediante la escala de Foster et al. (2001) y multiplicada por el tiempo de entrenamiento. En cuanto a la dinámica de carga semanal en este estudio, el día -4 se obtuvieron unos valores de 800 (ua), los días -3 y -2 sobre 300 (ua) y entre 200 y 300 (ua) los días +1 y -1. Mientras que en la presente tesis la carga de los días -4 y -3 fue de 450 (ua) y los días -2 y -1 de 255 (ua).

En lo referente al análisis de los entrenamientos independientemente del partido, Malone et al. (2015) no encontraron diferencias significativas en la carga de entrenamiento en los distintos tipos de día de la semana, excepto el día previo al partido, donde la carga de entrenamiento interna de los jugadores de la Premier League inglesa resultó ser significativamente menor al resto de los días, con el objetivo de conseguir un afinamiento y llegar en condiciones óptimas al partido. Del mismo modo, los resultados que se obtuvieron con las jugadoras de este estudio reportan la carga del día prepartido como la más baja de la semana de competición, aunque en este caso, lo hacen junto a la carga del día postpartido, donde las jugadoras titulares realizaban el trabajo de recuperación.

En un estudio realizado con futbolistas portugueses de primera división (Clemente et al., 2017), se comprobó que la carga de los entrenamientos, medida mediante RPE, en las semanas con dos partidos era significativamente menor que en las semanas con tan solo un partido, debido a que en las semanas con dos partidos los jugadores reciben una dosis de carga considerablemente mayor se decide ajustar durante las sesiones de entrenamiento para no exceder la carga

tolerable. Este resultado justifica la importancia del partido como suministro de carga a los jugadores frente al entrenamiento, ya que tal y como se obtuvo en el presente trabajo es el día de la semana con una carga más elevada.

No es fácil encontrar análisis previos en los cuales se compare la carga de entrenamiento los distintos tipos de día en futbolistas durante la semana o microciclo de competición. Wrigley, Drust, Stratton, Scott, y Gregson (2012) sí reportaron la carga de entrenamiento de cada día en equipos de categorías inferiores pero se centraron en comparar las diferencias entre edades. Al no ser categorías profesionales no entrenaban tanto como las jugadoras de este estudio y no se podrían realizar comparaciones.

Por otro lado, Impellizzeri et al. (2005) establecieron una oscilación de la carga semanal en jugadores de fútbol profesionales idéntica a la reportada en la presente tesis, donde los días de la semana con mas carga fueron los días -4 y -3 reduciendo el -2 y -1. Sin embargo, los jugadores del estudio entrenaron el día -5 reportando una carga superior a la del -2 y -1 pero inferior a los demás días, mientras que el día -5 en esta investigación fue el día libre correspondiente al descanso activo.

Los resultados obtenidos respetan las indicaciones de algunos autores que afirman que es esencial ubicar las sesiones de mayor carga distanciadas del próximo partido con el fin de que se produzca una recuperación completa y llegar en un estado óptimo a la competición (Bangsbo et al., 2006b; Dawson, 1996).



De acuerdo al nivel de la carga suministrada a las jugadoras durante los entrenamientos se podrían establecer tres bloques diferenciados durante la semana de competición: bloque de recuperación, bloque de adquisición/impacto y bloque de preparación del partido.

Autores como Manzi et al. (2010) o Clemente et al. (2014) hablan de una fase de la semana más intensa (adquisición de las capacidades) precedida de un proceso de recuperación y seguida de los días preparatorios del partido.

El bloque de recuperación lo conformarían los dos días previos a partido. El día posterior al partido, tal y como se puede observar en los resultados, sería uno de los días con menos carga de entrenamiento y el segundo día después de partido, consistiría en un descanso activo donde la carga de entrenamiento sería igual a cero. Por esta razón el bloque de recuperación sería el más suave y con menos carga de la semana.

Por su parte el “bloque de adquisición” o impacto se llevaría a cabo teóricamente después de completar la recuperación y comprende los días de la semana cuya carga es más elevada (-4 y -3). Es el bloque más intenso ya que son los días más alejados a la competición, en los que se puede entrenar una vez las jugadoras se han recuperado.

En última instancia se encontraría el “bloque de preparación” del partido que sería un bloque con mucha menor carga que la anterior pero mayor a la del bloque de recuperación. Estaría conformada por los días -1 en el cual se reporta una carga similar a la del día +1 y por

el día -2 donde se reporta una carga ligeramente superior a pesar de que esta sigue siendo baja. Debido a la inmediatez del partido se pretende reducir la carga con el objetivo de completar las adaptaciones, provocadas por la elevada carga del bloque de adquisición, y llegar descansadas y en plenas condiciones a la competición. Este proceso es definido como afinamiento o “tapering” por autores como Fessi et al. (2016); Pyne, Mujika y Reilly (2009) o Pritchard, Keogh, Barnes y McGuigan (2015).

### **3.3.2. Carga de entrenamiento interna de partido y de entrenamiento compensatorio.**

Tal y como afirman Stagno et al. (2007) debido a la disparidad de cargas mostradas en su estudio entre partido y entrenamientos, los jugadores que no participan regularmente como titulares necesitarán un entrenamiento adicional para mantener el estado de forma durante el periodo competitivo.

Con el presente trabajo se pretendía conocer si en este entrenamiento adicional, conocido como entrenamiento compensatorio, normalmente realiza el día posterior al partido con los jugadores no titulares, se suministraba la dosis suficiente con la recibida durante el partido.

Los resultados en relación a esta variable son concluyentes al obtener, que, en el partido, teniendo en cuenta el TRIMP, prácticamente se duplica la dosis respecto al entrenamiento compensatorio, y en referencia al RPE, se triplica la dosis al comparar el partido con el entrenamiento compensatorio.

Si la dinámica de cargas en los equipos profesionales es similar a la descrita anteriormente, los resultados obtenidos deberían hacer reflexionar a los profesionales responsables de la planificación del entrenamiento, puesto que a lo largo de la temporada las jugadoras que no reciban el estímulo del partido tendrán dosis menores de carga, lo que les impedirá mantener el mismo estado de forma que sus compañeros titulares.

Tal y como afirma Bompa (2009) si un jugador no recibe la carga suficiente tanto en competición como en entrenamientos, podrían sufrir problemas de acondicionamiento, manifestados en pérdidas de fuerza muscular y descensos del VO<sub>2</sub> máx. de entre el 6% y el 15%, dependiendo de si la carencia de carga se prolonga en el tiempo más o menos (Willmore, Costill y Kenney, 1999).

Por esta razón aquellas jugadoras que no participan en el partido asiduamente, teniendo en cuenta que el entrenamiento compensatorio aporta una carga muy inferior a la del partido, podrían reducir sus capacidades a lo largo del tiempo.

Sería aconsejable, por lo tanto, aportar más carga a los jugadores que realizan entrenamientos compensatorios. No obstante, simular la intensidad de partido es una labor inaccesible en el entrenamiento debido al contexto y la importancia de la competición. Ritchie et al. (2016) afirman que “entrenar como se juega” es prácticamente imposible de conseguir debido a las altas demandas del partido.

En lo referente a la percepción de fatiga y daño muscular, Silva et al. (2017) comparan en su estudio ambos términos tras un partido real

y tras un partido simulado, hallando una fatiga realmente representativa en el partido a diferencia de la obtenida en la simulación. Según los resultados del estudio debido a la alta demanda competitiva, la fatiga parece ser siempre mayor en el partido que en la simulación del partido, ya sea replicando el estímulo físico, como en el caso del autor recién reportado, o intentado replicar las condiciones del partido en todas las estructuras (técnica, táctica, física y psicológica) en el trabajo compensatorio, tal y como se ha realizado en esta investigación.

Ante estos hallazgos, una posible solución sería realizar dos entrenamientos, o incluso tres, en lugar de uno, para compensar el esfuerzo de los jugadores no titulares y así poder tener a toda la plantilla en una dinámica de cargas similar y en las mismas condiciones de cara a la competición.

Otra posible propuesta cuyo objetivo sería compensar el esfuerzo recibido por los jugadores titulares durante el partido, sería realizar partidos amistosos con los jugadores que no fueron titulares como método de ajuste. Sin embargo, estudios previos muestran, que en partidos no oficiales en pretemporada, los jugadores recorren un 30% menos de distancia que en partidos oficiales (Ritchie et al., 2016). Aún así este método se podría ajustar más a la realidad de la carga recibida en la competición por lo que podría ser una alternativa al entrenamiento compensatorio.

### **3.3.3. Carga de entrenamiento interna en semana con y sin competición.**

A día de hoy prácticamente no se han descrito publicaciones que comparen la carga recibida por los jugadores en la semana de competición, respecto a la semana sin competición (correspondiente a los compromisos de selección nacional) dentro de la temporada.

Sin embargo, el estudio realizado por Manzi et al. (2010), con jugadores de fútbol profesional, comparó la carga de entrenamientos en semanas sin partido, semanas con un partido y semanas con dos partidos. Los resultados fueron muy similares a los de la presente tesis, mostrando que la carga de los entrenamientos de la semana sin partido era significativamente superior a la de la semana de competición.

Debido a la carencia de estudios que analicen esta situación podría ser importante dicha investigación, ya que, exceptuando a los mejores equipos de cada liga, cuyos jugadores/as viajan con la selección a realizar entrenamientos y/o partidos, la mayoría de equipos tiene a la totalidad de jugadores/as para trabajar.

No obstante, sí existen estudios que comparan la carga recibida durante los entrenamientos en el periodo de competición y en la pretemporada (Jeong et al., 2011). En este estudio, realizado con jugadores de fútbol profesional de 1ª división coreana, se afirmó que había unas demandas fisiológicas superiores en los entrenamientos de pretemporada a los entrenamientos durante la temporada, argumentando que, el tiempo en el que los jugadores se encontraban

en zonas de entre el 80 y el 100% de su frecuencia cardíaca máxima y el esfuerzo percibido durante la sesión de entrenamiento era mayor en el periodo de pretemporada.

Si se extrapolasen una semana de pretemporada y una semana donde se detiene la competición de liga por la selección, se observaría que en la semana donde no hay competición, la carga de los entrenamientos es significativamente mayor que las semanas en las que sí hay competición.

Esto podría deberse a la importancia del partido como proveedor de carga a los jugadores, y es que en el periodo competitivo se reserva una gran parte de la carga a suministrar para el momento propio de la competición.

Durante el periodo no competitivo, al no contar con el partido como elemento generador de la carga, se intenta compensar y aumentar esta durante los entrenamientos, con el objetivo de que la carga suministrada durante la semana sea suficiente.

Además, la posibilidad de dar días de descanso en las semanas sin competición, permite aplicar el principio de supercompensación (Ozolin, 1974) y proporcionar cargas altas durante los entrenamientos para conseguir adaptaciones en el tiempo de descanso. Este siempre será mayor que en las semanas de liga.

Es importante reflexionar sobre los jugadores que no juegan regularmente los 90 minutos en competición, puesto que la carga durante la semana competitiva viene dada en buena medida por el

partido. En cualquier equipo más de la mitad de la plantilla no disputa regularmente los 90 minutos del partido, por lo que si además el trabajo compensatorio no es estrictamente similar al estímulo de partido, tal y como se ha visto en los resultados, se está suministrando una carga inferior a aquellos jugadores que no juegan los 90 minutos. Esto podría provocar descensos en el rendimiento de los jugadores a corto o medio plazo y por consiguiente un detrimento del rendimiento del equipo.

Además, los jugadores que no juegan habitualmente los partidos, podrían recibir una carga excesiva en las semanas de no competición, a la que no están habituados, pudiendo esto desembocar en la aparición de lesiones (Árnason, 2009).

En el estudio de Scott y Lovell (2018) con jugadoras de fútbol profesional de una selección nacional en el periodo preparatorio para el mundial, y por tanto periodo no competitivo, encontraron unos valores de RPE y de TRIMP superiores a los que se hallan en la presente tesis, durante las semanas de competición y semejantes a los de las semanas sin competición. Estos resultados apoyan la idea de que durante periodos de competición el partido es el evento más determinante a la hora de aportar carga a los jugadores y por esta razón, en los periodos sin partidos, la carga de los entrenamientos es más elevada.

Como se ha mencionado anteriormente, no se han descrito estudios que comparen las diferencias entre la carga que reciben los jugadores en semanas con competición y en semana sin competición enmarcadas

dentro del contexto competitivo. Sin embargo, un estudio con futbolistas profesionales comparó la carga de entrenamiento en semanas con un partido y con dos partidos, hallando que las semanas en las que había menos competición (1 partido) los entrenamientos tenían significativamente más carga que la semana que había más competición (2 partidos) (Clemente et al., 2017).

En la misma línea los resultados de esta investigación defienden que las semanas sin competición la carga que recibían las jugadoras era significativamente superior que la carga que recibían en semanas con competición, medido tanto mediante el TRIMP como a través de la escala de percepción subjetiva.

Por otra parte, existen varios estudios que muestran los valores medios de la carga de entrenamiento interna de los futbolistas, a partir del RPE en un periodo sin competición como es la pretemporada. Esto podría extrapolarse a las semanas sin competición de esta investigación, donde era mayor la carga que reciben los jugadores respecto al periodo competitivo. En el estudio con futbolistas coreanos de Jeong et al. (2011), se hallaron unos valores medios de entrenamiento de  $321 \pm 23$  ua; Malone et al. (2015) reportaron unos valores de  $447 \pm 209$  ua en futbolistas de la Premier League inglesa y Manzi, Bovenzi, Impellizzeri, Carminati y Castagna (2013) muestran unos valores de  $644 \pm 224$  ua en jugadores de élite italiano, aunque en este último caso se incluye el partido amistoso de pretemporada como un entrenamiento más.



Moalla et al. (2016) en su investigación con 19 jugadoras de fútbol profesional, en lugar de analizar el valor medio de la carga por día examinan los valores totales medios semanales, exponiendo unos índices en pretemporada de RPE de más de 2500 ua. En el periodo competitivo diferencian entre 2500 y 1700 en semanas competitivas estándar y menos de 1700 para semanas competitivas de “tapering”.

Otros estudios, aunque realizados en fútbol australiano, aportan información en la misma línea al afirmar que la carga interna semanal que reciben los jugadores en pretemporada es mucho mayor que la carga que reciben durante la temporada. (Ritchie et al., 2016; Moreira et al., 2015; Rogalski, Dawson, Heasman, Gabbet, 2013).

Durante la semana que no hubo competición en este trabajo se encontraron unos valores similares de RPE ( $434 \pm 198$ ua) a los que obtuvo Malone et al. (2015) en pretemporada ( $447 \pm 209$ ua), sin embargo en la semana de competición los valores de las jugadoras ( $367 \pm 181$ ) fueron más bajos que los reflejados en el trabajo de Malone et al. (2015) y el de Manzi et al. (2013) ( $644 \pm 224$  ua) pudiendo establecer que la cercanía de la competición condiciona la carga de entrenamiento y que en semanas sin competición, las cargas son inferiores a las que reportan los estudios en pretemporada debido posiblemente, a que en los periodos en los que hay 1 partido por semana el entrenamiento durante la misma se centra en la preparación del partido y en facilitar la recuperación (Slattery, Wallace, Bentley y Coutts, 2012). En el estudio de Jeong et al. (2011) obtuvieron unos valores medios de carga inferiores en pretemporada ( $321 \pm 23$  ua)

posiblemente debido a que el nivel deportivo de la muestra es inferior al del resto de investigaciones reportadas.

Acorde a esta idea, algunos trabajos afirman que el entrenamiento con cargas altas entre dos partidos separados por 1 semana, disminuye la capacidad de realizar sprint y acciones explosivas y aumenta el riesgo de lesión (Murray, Gabbett, Chamari, 2014; Slattery et al., 2012).

En la semana que hubo competición las jugadoras de esta investigación mostraron valores de RPE similares ( $367 \pm 181$ ) a las encontradas por Jeong et al. (2011) en el periodo de competición ( $365 \text{ua}$ ), superiores a los resultados de Malone et al. (2015) ( $272 \text{ua}$ ) e inferiores a los hallados en un estudio realizado con jugadores semiprofesionales (Casamichana, Castellano, Calleja-Gonzalez, San Román, y Castagna, 2013) ( $462 \text{ua}$ ); no variando en exceso los resultados obtenidos con los publicados en el periodo de competición.

#### **3.3.4. Relación entre la carga de entrenamiento objetiva y subjetiva.**

El índice de esfuerzo percibido ha sido comúnmente relacionado con indicadores de carga externa e interna, mostrando correlaciones significativas altas y muy altas en prácticamente todas las disciplinas deportivas (Alexiou y Coutts, 2008; Borresen y Lambert, 2008; Brandão et al., 1989; Chávez et al., 2012; Costa et al., 2013; Fanchini et al. 2015; Gómez-Díaz et al., 2013b; Impellizzeri et al., 2014; Scott y Lovell, 2018).

En cuanto a la relación entre la carga interna a partir del TRIMP y el esfuerzo percibido (RPE), se obtuvo en la presente tesis, una correlación significativa positiva muy alta ( $RS= 0,70$ ;  $p<0,01$ ) entre el TRIMP de Banister y la carga obtenida a partir del índice de Foster.

Estos resultados hallados durante el periodo de competición, son superiores a algunos de los propuestos con anterioridad en futbolistas y que utilizaron el TRIMP de Edwards durante el periodo de entrenamiento:  $r=0,55$  y  $0,50$  (Campos-Vazquez et al. 2015), o  $r=0,57$  (Casamichana et al. 2013).

Siguiendo con estudios que utilizan el TRIMP de Edwards sobre futbolistas, existen algunos que reportan resultados similares o superiores:  $r=$  de  $0,54$  a  $0,78$  (Impellizzeri et al. 2004),  $r=$  de  $0,56$  a  $0,97$  (Alexiou y Coutts, 2008),  $r=$  de  $0,69$  a  $0,91$  (Clarke et al., 2013),  $r= 0,87$  y  $0,80$  (Campos-Vázquez et al. 2015).

Los resultados obtenidos son acordes a los de aquellos autores que utilizaron el TRIMP de Banister en futbolistas:  $r=$ de  $0,50$  a  $0,77$  (Impellizzeri et al., 2004),  $r=$ de  $0,67$  a  $0,95$  (Alexiou y Coutts, 2008),  $r=0,75$  (Akubat et al., 2012),  $r=$  de  $0,65$  a  $0,90$  (Clarke et al., 2013). En la misma línea, dos trabajos que emplean el TRIMP de Lucía en futbolistas obtienen exactamente los mismos resultados:  $r=$  de  $0,61$  a  $0,85$  (Impellizzeri et al. 2004; Alexiou y Coutts, 2008).

Alexiou y Coutts (2008) es el único de los estudios reportados que también realizó las medidas en futbolistas de sexo femenino, aunque en categorías inferiores. Además de las correlaciones significativas mencionadas hallaron una relación menor en los partidos y

entrenamientos de resistencia, que en el resto de sesiones. En los resultados del presente estudio no se ha realizado una correlación directa diferenciando los partidos de los entrenamientos, pero se puede observar que distan más los valores entre TRIMP y RPE en partido que en las sesiones de entrenamiento.

Los estudios en los que se correlaciona la carga interna objetiva, a partir de la frecuencia cardíaca, con métodos de percepción subjetiva en jugadoras mujeres de máximo nivel durante el periodo competitivo es prácticamente inexistente. Los resultados de este trabajo contribuyen a concebir como válido el uso de este tipo de estrategias en jugadoras mujeres de máximo nivel, durante el periodo competitivo.

### **3.4. Desarrollo argumental en relación a la fatiga**

En la mayoría de las investigaciones expuestas, se somete a los jugadores a una simulación de partido en la que se intenta replicar las condiciones del mismo (Nagahara et al., 2016; Silva et al., 2017) para posteriormente evaluar el impacto del estímulo del partido simulado, sobre distintas variables.

El presente estudio pretende conocer cómo se alteran las distintas variables relacionadas con la fatiga, a consecuencia de la competición oficial en jugadoras de fútbol profesional. El hecho de utilizar una muestra de jugadoras profesionales en periodo de competición oficial aporta un valor al estudio alto a diferencia de la mayoría de investigaciones publicadas hasta el momento.

Se considera que un jugador está recuperado de su fatiga cuando es capaz de alcanzar su rendimiento inicial en una determinada actividad (Bishop, Jones y Woods, 2008). El alto nivel y demanda competitiva de este estudio, realizado durante el tercer cuarto de la temporada, mostró un tiempo de recuperación tras el partido mayor comparado con los reportados por otros autores (24h/48h) (Nédélec et al., 2013; Rampinini et al., 2011; Silva et al., 2013a); los resultados de otro grupo de estudios se acercan más a los hallazgos de la presente tesis, exponiendo un tiempo necesario algo mayor (sobre 24/72h) (Ascensão et al., 2008; Fatouros et al., 2010; Magalhães et al., 2010).

Andersson et al. (2008b) y Ascensão et al. (2008) afirman que en periodos de alta densidad competitiva, donde se dispone de 72 horas

de recuperación entre partidos, podría no haber tiempo suficiente para alcanzar una recuperación completa del estado físico.

En la mayoría de estudios reportados, las variables que se miden en relación con la fatiga tras el partido se restablecen en un menor intervalo de tiempo. Rowland (1990) y Bompa (2009) enuncian que debido a los bajos niveles de testosterona, las mujeres muestran ritmos de regeneración inferiores a las de los atletas masculinos. La mayoría de las publicaciones realizadas tienen una muestra masculina. Esta podría ser una de las razones por las que los resultados obtenidos en este estudio difieren con la mayoría de trabajos citados.

Sin embargo, se existe otro grupo de investigaciones que coinciden totalmente con los resultados obtenidos en este trabajo, donde se observa un pico de fatiga entre las 24 y 72 horas tras el partido y la recuperación no se completa, hasta pasados unos 5-7 días (Kanda et al., 2013; McKune, Semple y Peters-Futre, 2012; Saka et al., 2009; Yanagisawa, Kurihara, Okumura y Fukubayashi, 2010).

Nédélec et al (2014) mostraron que el análisis de salto medido mediante CMJ y el test de sprint fueron las variables más sensibles para monitorizar el estado neuromuscular postpartido.

En cuanto a la sensibilidad de las variables relacionadas con la fatiga propuestas por Hooper et al. (1995) y a la relación de las mismas con la carga de entrenamiento, son varios los estudios que afirman que la fatiga general y el daño muscular están más afectados por la carga, que por el estrés y la calidad de sueño (Moalla et al., 2016 y Nédélec et al., 2015).

En la presente tesis, al igual que en los resultados mencionados anteriormente, se observa que después del evento de la competición, entendido como el momento de la semana con un índice de carga más elevado, hay un incremento significativo de las variables de fatiga general y daño muscular superior a las variables de sueño y estrés. Estos dos últimos indicadores podrían estar más condicionados por los aspectos contextuales que viven las jugadoras, tales como: prácticas religiosas, posición en liga o importancia del partido, entre otras (Armstrong y Vanheest, 2002; Nédeléc et al., 2015; Saw et al., 2016).

Publicaciones previas como la de Haddad et al. (2013) estudiaron la posible correlación existente entre la carga de entrenamiento (RPE) y las variables relacionadas con la fatiga propuestas por Hooper et al. (1995): Fatiga general, sueño, daño muscular y estrés; dando un resultado negativo. Tal y como intentan explicar estos autores la percepción de esfuerzo refleja la intensidad del ejercicio y no la fatiga o variables de bienestar.

Es importante destacar que, por un lado, el RPE es un indicador de carga de entrenamiento. Mientras que las escalas de estado de bienestar o fatiga miden la asimilación y el estado del futbolista, pero no la carga de entrenamiento. Son varios los estudios que han utilizado estos términos indistintamente y han intentado correlacionar variables que miden parámetros distintos.

No obstante, distintos estudios encuentran asociaciones entre el incremento de la carga de entrenamiento y los indicadores de bienestar como: la calidad de sueño, estrés, fatiga y daño muscular tanto en

pretemporada (Bucheit et al., 2013; Moalla et al., 2016) como durante el periodo competitivo (Thorpe et al., 2015; Moalla et al., 2016).

### **3.4.1. Tiempo en test de velocidad según el día.**

Podemos encontrar numerosa bibliografía que analiza la magnitud de la fatiga mediante el rendimiento en sprint tras un partido competitivo, amistoso o simulado (Andersson et al., 2008b; Ascensão et al., 2008; Fatouros et al., 2010; Ispirlidis et al., 2008; Magalhães et al., 2010; Nédélec et al., 2014; Rampinini et al., 2011, Stone et al., 2016).

Nédélec et al. (2012) afirman en su revisión que inmediatamente después del partido el rendimiento en sprint puede descender desde un 2% a un 9%. El tiempo necesario para recuperar el rendimiento en sprint tras un partido difiere considerablemente entre los estudios existentes, hallando un tiempo mínimo de 5 horas (Andersson et al., 2008b) y un máximo de 96 horas (Ispirlidis et al., 2008).

Todos los estudios que utilizan un test de 20 metros para evaluar el rendimiento en sprint y realizan mediciones en las 24, 48 y 72 horas posteriores al partido de fútbol reportan que en cada medición existe una mejora respecto al partido y la medición anterior (Ascensão et al., 2008; Fatouros et al., 2010; Ispirlidis et al., 2008; Magalhães et al., 2010).

Rampinini et al. (2011), tras simular un partido con jugadores de fútbol profesional de la serie A italiana, observaron que había un descenso en el rendimiento en sprint de 40 metros, tanto 24 como 48 horas después del partido. Aunque solo fue significativo el día



postpartido. Además, encontró relación significativa ( $r=-0,63$ ;  $p<0,01$ ) entre el descenso de rendimiento en sprint y máxima activación voluntaria después del partido.

En estudios realizados con jugadores de fútbol profesional, se encontró un descenso significativo de la velocidad pico medida en un sprint de 6 segundos 24, 48 y 72 horas después del partido, considerando un descenso moderado o bajo 72 horas después de partido (Nédélec et al. 2012; Nédélec et al. 2013; Nédélec et al 2014).

En la misma línea Stone et al. (2016) en el estudio realizado con jugadores profesionales de la 1ª división de Gales, realizaron una simulación de partido para evaluar posteriormente el estado de los jugadores. Los tiempos de sprint, tanto en el test de 10 metros como en el de 60 metros tras 48h, seguían siendo significativamente mayores que los valores iniciales. Mostrando un periodo de tiempo insuficiente de recuperación del rendimiento en el test de velocidad. Sin embargo, en el mismo estudio, no se detectaron alteraciones en la medición de la altura de CMJ inmediatamente después, 24 o 48 horas tras la simulación del partido.

Dichos resultados son acordes a los hallados en la investigación presente, donde hay un proceso ascendente del rendimiento de sprint en el test de 10 metros conforme aumenta el tiempo tras el partido. El día menos 3, que en la semana de competición normal con 7 días, corresponde a 96 horas después del último partido, las jugadoras obtuvieron mejores marcas que el día menos 4 (tras 72 horas respecto al partido), y 72 horas después del partido, las jugadoras demostraron

un mayor rendimiento que el día más 1 o día post partido (24 horas después de la disputa del partido).

Sin embargo estudios como el de Silva et al. (2013a) realizado con siete jugadores de fútbol profesional de la liga portuguesa, encontraron diferencias en el test de salto 24 horas después del partido. No obstante, no hubieron diferencias significativas en el rendimiento en el test de 5 y 30 metros respecto a los valores prepartido.

Del mismo modo Andersson et al. (2008b) en su estudio realizado con 22 jugadoras mujeres de las ligas profesionales de Suecia y Noruega encontraron un descenso en el test de 20 metros, que fue significativo tan solo en la medición inmediatamente posterior al partido, pero no en las llevadas a cabo a las 5 horas, ni en las siguientes. Sin embargo, igual que el autor anterior encontraron un descenso del rendimiento en el salto prolongado en el tiempo.

Otros trabajos utilizaron el rendimiento en salto (CMJ), aunque es menos específico que el test de sprint sobre los esfuerzos que aparecen en la competición en fútbol (Buchheit y Laursen, 2013). El salto CMJ es considerado una prueba homóloga al test de velocidad ya que autores como Wisløff, Castagna, Helgerud, Jones y Hoff (2004) encontraron correlaciones fuertes entre las dos pruebas indicadoras de un descenso en la capacidad contráctil de la musculatura de los miembros inferiores. Si bien Silva et al. (2017) afirman en su revisión que mientras que el rendimiento en sprint se suele recuperar alrededor

de 72 horas post partido, la capacidad de salto requiere de más tiempo para que se establezcan los valores basales.

Al analizar el rendimiento de este salto 24, 48 y 72 horas tras el partido se encontraron conclusiones heterogéneas. Numerosos autores (Bailey et al., 2007; Magalhães et al., 2010; Nédélec et al., 2014; Romagnoli et al., 2016) reportan, del mismo modo que los resultados del estudio realizado, un descenso significativo del rendimiento en salto hasta en las 48 y 72 horas después, sin alcanzar en la mayoría de los casos, la recuperación respecto a los valores prepartido.

En algunas investigaciones se observa una fatiga inducida por el partido medido mediante squat jump (Nédélec et al., 2012; Nédélec et al., 2013; Robineau et al., 2012) y en otras se utiliza el CMJ (Andersson et al., 2008b; Edholm et al., 2015; Hughes et al., 2013; Krstrup et al., 2010; Nédélec et al., 2012; Nédélec et al., 2013; Nédélec et al., 2014; Robineau et al., 2012; Romagnoli et al., 2016; Silva et al., 2013a; Stone et al., 2016; Thorlund, Aagaard y Madsen., 2009) existiendo una alteración consistente en ambos test 72 horas después de la competición.

Sin embargo, algunos autores (Fatouros et al., 2010; Ispirlidis et al., 2008; Nédélec et al., 2013; Silva et al., 2013a) exponen que 24 horas tras el partido hay un descenso significativo del rendimiento en salto pero no tras 48 ó 72 horas. Pudiendo esclarecer que tras 48 horas, el rendimiento en salto ya está restituido alcanzando un descenso importante de la fatiga en este momento.

En estudios realizados con mujeres futbolistas en los que se midió la altura del salto, se encontraron descensos significativos hasta 24 horas tras el partido (Hoffman et al., 2011), mientras que en otras investigaciones el descenso en el rendimiento de salto perduró durante todas las mediciones postpartido siendo el muestreo más alejado al partido 69 horas tras la finalización del mismo (Andersson et al., 2008b).

### **3.4.2. Percepción de fatiga general según el día.**

El estudio de Nédélec et al. (2013) midió la percepción de fatiga mediante la escala de Hooper en distintos momentos después de una simulación de partido, estableciendo que inmediatamente después del partido la fatiga era significativamente mayor a la previa al partido, pero a diferencia de los resultados de la presente investigación, no estableció diferencias significativas ni 24, ni 48 horas después del partido con los valores prepartido. Según los resultados hallados en este estudio la fatiga percibida utilizando la misma escala que Nédélec et al. (2013), seguía siendo significativamente mayor el día menos 4, que en una semana típica corresponde con 72 horas después del partido.

En un estudio realizado por el mismo autor (2014) con jugadores de fútbol profesionales, se halló un descenso significativo de la fatiga general medida mediante la Escala de Hooper 24 horas después del partido. Estos autores obtuvieron unos valores de percepción de fatiga de  $4.1 \pm 1.1$  24 horas después del partido, un valor de  $3.3 \pm 1.2$  tras 48h y  $3.1 \pm 0.8$  transcurridas 72 horas.

Moalla et al. (2016) reporta en jugadoras de fútbol profesional un valor medio diario, teniendo en cuenta periodo precompetitivo y el periodo competitivo, de  $4.1 \pm 1.6$ .

Los valores obtenidos en el presente trabajo fueron igual a los enunciados por Moalla et al. (2016) únicamente en el día post partido y más bajos que los mostrados por Nédélec (2014) el resto de días de la semana, siguiendo una dinámica de descenso paulatino de la fatiga hasta el día de partido representando a la perfección la recuperación durante la semana de competición.

En las semanas con dos partidos se encontró una fatiga general significativamente mayor, medida a partir de la escala de Hooper, que en las semanas que había solamente un partido (Clemente et al., 2017). Esto sitúa al “evento del partido” como el acontecimiento generador de mayor fatiga durante el periodo competitivo.

En los resultados obtenidos en el presente trabajo, la fatiga reportada por las jugadoras, el día posterior al partido, fue claramente superior a la fatiga reportada por las jugadoras tras los entrenamientos más intensos de la semana correspondiente a los días -4 y -3. Los resultados obtenidos revelan que la fatiga percibida los distintos días de la semana de competición, varía de forma significativa en relación a la cercanía del partido ya disputado (fatigas superiores) y de la cercanía del partido a disputar (fatigas inferiores).

Se pueden establecer cuatro bloques en los que se detecta una fatiga general diferenciada.

El bloque de mayor fatiga podría denominarse el “Bloque post partido”. Corresponde al día +1, aunque sería posible incluir el día +2 si se hubiera analizado, debido a que autores como Cheung et al., (2003) exponen que el pico de fatiga tras un esfuerzo se alcanza tras 24 ó 48 horas.

El segundo bloque comprendería los días más alejados al partido (-4,-3 y -2). La fatiga reportada durante estos días sería una de carácter intermedio (superior a los días previos a partido e inferior a los días posteriores a partido). De acuerdo con los resultados obtenidos este bloque se podría denominar como el “Bloque intermedio”.

El tercer bloque corresponde al día -1. La fatiga reportada durante estos días sería la más baja de la semana debido a los mecanismos de “tapering” (Fessi et al., 2016; Pritchard et al., 2015; Pyne et al., 2009), propuesto por los entrenadores. Este bloque se podría denominar como el “Bloque pre-partido”.

Por último, hay que destacar el día de partido, donde se completa el “tapering” o afinamiento que comienza a aflorar el día previo y llega a su estado de menor fatiga en este momento.

### **3.4.3. Percepción de la calidad del sueño según el día.**

Nédélec et al. (2013); Nédélec et al (2014), midieron la calidad de sueño mediante la escala de Hooper, en distintos momentos después de una simulación de partido. No se establecieron diferencias significativas ni 24, ni 48 ni 72 horas después del partido con los valores prepartido. Según la presente investigación, cuyas mediciones fueron tomadas tras un partido oficial, la percepción de la calidad de

sueño, medida mediante la misma escala, fue significativamente peor el día siguiente de partido pero no fue significativamente distinto el día menos 4 siguiente, que en una semana típica corresponde a 72 horas tras el partido.

En el estudio de Nédélec (2014) se obtuvieron unos valores de calidad de sueño de  $3,3 \pm 1,3$  a las 24 horas del partido y un valor de  $2,6 \pm 1,3$  tras 48 y 72 horas.

Moalla et al. (2016) obtuvieron, en jugadoras de fútbol profesional, un valor medio diario (teniendo en cuenta los entrenamientos del periodo precompetitivo y del periodo competitivo), de  $3.9 \pm 1.3$ .

Los valores obtenidos en el presente estudio también fueron superiores el día postpartido ( $2,53 \pm 1.02$ ), y de igual forma que los artículos reportados, los valores descendieron 3 días después del partido ( $2,12 \pm 0,79$ ), mostrando, sin embargo, una mayor calidad de sueño con respecto a los estudios publicados.

El hallazgo más relevante fue la menor calidad de sueño reportada por las jugadoras el día postpartido, posiblemente como consecuencia de la fatiga generada durante el partido.

El resto de días de la semana se obtuvieron unos valores constantes exceptuando dos ligeros repuntes el día menos 2, posiblemente debido a la fatiga generada los días de entrenamiento más intensos (-4 y -3). Por otra parte, el día de partido se observa un ligero descenso de calidad de sueño que podría deberse al estrés prepartido.

#### **3.4.4. Percepción de daño muscular según el día.**

Los jugadores de fútbol muestran valores altos de daño muscular inmediatamente después del ejercicio, que pueden llegar a su pico 24 ó 48 horas después de la actividad (Cheung et al., 2003).

Sin embargo Nédélec et al. (2013), que midió el daño muscular mediante la escala de Hooper en distintos momentos después de una simulación de partido, no estableció diferencias significativas 48 horas después de la competición respecto a los valores basales, aunque si que reportó un aumento significativo de daño muscular 24 horas después del partido.

El mismo autor (2014), en otro estudio, halló diferencias significativas en el daño muscular hasta las 72 horas después de partido medida mediante la misma escala, alcanzando un pico de daño 48 horas después del partido ( $3,8 \pm 1,3$ ), un valor de  $3,6 \pm 1,2$  tras 24 horas y de  $3,5 \pm 1,5$  después de 72 horas.

Moalla et al. (2016) obtuvo, en jugadoras de fútbol profesional, un valor medio diario, teniendo en cuenta los entrenamientos del periodo precompetitivo y del periodo competitivo, de  $4.2 \pm 1.7$ .

Los valores obtenidos en el presente trabajo fueron similares únicamente el día postpartido, mostrando un descenso de algo más de un punto en el resto de los días, evidenciando así una mayor recuperación del daño muscular percibido.

En el estudio realizado con 7 jugadores de Primera y Segunda División danesa durante el periodo competitivo por Krstrup et al.



(2011) establecieron que los valores prepartido de daño muscular fueron significativamente menores a los de después del partido, 1,2 y 3 días posteriores al partido. El valor más alto obtenido, mediante la escala VAS, fue el tomado inmediatamente después del partido, aunque no se compararon las posibles diferencias entre los días postpartido.

Akkurt et al. (2015) también midieron mediante la VAS el daño muscular en jugadores amateur, esta vez en césped artificial. Obtuvieron que el daño muscular alcanzaba su pico 24 horas después del partido y disminuía 72 horas aunque seguía existiendo una diferencia significativa. Estos resultados coinciden con los de Ispirlidis et al, (2008) argumentando que el pico de daño muscular se alcanza 24 horas tras el partido y difiere de Davies, Eston, Fulford, Rowlands y Jones (2011) quienes afirman que el daño comienza 24 horas tras el partido y alcanza su pico 48 horas después.

Los resultados de esta investigación son acordes a los dos primeros estudios ya que se halló el pico en el día post partido. Es necesario mencionar que no se han registrado los valores 48 horas después del partido al ser el día libre de las jugadoras.

Asimismo los resultados coinciden con los de Akkurt et al. (2015) en que 74 horas tras el partido seguía habiendo una diferencia significativa.

Rampinini et al. (2011), en su simulación de partido con jugadores de fútbol profesional de la serie A italiana, observaron que el daño muscular percibido era muy elevado a las 24 horas y permanecía

elevado con un pequeño descenso 48 horas después del partido. Andersson et al. (2008b), en su investigación realizada con jugadoras de fútbol profesional, encontraron diferencias significativas respecto a los valores basales hasta 51 horas después de partido, recuperando los valores iniciales 69 horas tras el mismo.

El estudio realizado por Jamurtas et al. (2015), con jugadores semiprofesionales, analizó el daño muscular 2, 12, 36 y 60 horas después de partido comparándolo con el valor inicial y con el grupo control formado por los jugadores que no jugaron el partido. En los 4 momentos de la medición se encontró un daño muscular significativamente mayor que en los valores iniciales y 2, 12 y 36 horas después de partido se encontraron unos valores mayores significativos respecto al grupo control.

En la misma línea, en la presente tesis se observó que en todos los días de la semana la percepción del daño muscular fue significativamente mayor al daño percibido antes del partido. El día en que se reportó un daño muscular mayor fue el día después del partido. De acuerdo con Silva et al. (2017) el pico de daño muscular (DOMS) tras el partido se produce 24 horas después del mismo, permaneciendo este elevado incluso 72 horas tras la competición.

En los 6 tipos de día analizados se pudo observar que tanto en el día de partido como en el día postpartido se reportaron daños musculares distintos a todos los demás días. El día postpartido fue el día con un mayor daño muscular reportado como consecuencia de la competición y el día de partido fue el día con un menor daño mostrado

como consecuencia del “tapering” (Fessi et al., 2016; Pritchard et al., 2015; Pyne et al., 2009) o afinamiento realizado por los entrenadores al disminuir las cargas de entrenamiento para llegar sin daño ni molestias a la competición.

Se podría establecer, igual que se ha realizado en el apartado de fatiga, una diferenciación en tres bloques durante la semana además del día del partido: Bloque postpartido, bloque intermedio y bloque prepartido.

Se puede observar un bloque formado por los días -4,-3 y -2 en el que el daño muscular es intermedio, probablemente debido a que la recuperación no se ha completado en el día -4 y a que en los días -3 y -2 el daño remanente es similar, como consecuencia de la alta carga de entrenamiento que se suministra durante estos días.

A partir del día -2, debido a la cercanía de la competición, el daño muscular descende como consecuencia de la disminución de la carga, con el fin de llegar sin molestias al partido. Por otra parte, el daño muscular el día -1 es significativamente inferior al día -2 pero superior al día de partido, debido a que a esta fecha le preceden varios días con cargas de entrenamiento muy suaves.

Mediante los resultados obtenidos se puede apreciar el impacto que tiene el partido como el mayor generador de daño muscular durante el proceso competitivo. De hecho, en las semanas con dos partidos se encontró un daño muscular significativamente mayor, medido a partir de la escala de Hooper, que en las semanas con solamente un partido (Clemente et al., 2017).

### **3.4.5. Percepción de estrés según el día.**

En los estudios de Nédélec et al. (2013 y 2014) (que midieron la percepción de estrés mediante la escala de Hooper en distintos momentos después de una simulación de partido), no establecieron diferencias significativas ni 24, ni 48 ni 72 horas respecto a los valores basales. Se obtuvieron unos valores de estrés medidos mediante la escala de  $2,4 \pm 1,7$ ;  $2,0 \pm 0,9$  y  $1,9 \pm 0,9$  tras 24, 48 y 72 horas respectivamente.

Moalla et al. (2016), en jugadoras de fútbol profesional, obtuvo un valor medio diario, teniendo en cuenta los entrenamientos del periodo precompetitivo y del periodo competitivo, de  $4.0 \pm 1.2$ .

Según la presente tesis, en cuanto a la percepción de estrés medida mediante la misma escala solo existen diferencias significativas en el estrés el día prepartido con respecto a los días de partido y postpartido.

El día prepartido fue el día que menos estrés mostraron las jugadoras, posiblemente debido a que solía ser un día libre en cuanto a ocupaciones extradeporativas. Asimismo, los contenidos de las sesiones solían ser muy simples a nivel cognitivo y muy suaves a nivel condicional.

El día de partido y post partido fueron los días que más estrés mostraron las jugadoras, probablemente debido al evento de partido o a posibles variables contextuales como haber empatado o perdido, una posible lesión, no haber jugado...

No se encontraron diferencias significativas el día menos 4 (que una semana tipo corresponde con 72 horas después del partido), ni los días -3 y -2. Se podría afirmar que la variable estrés es la variable más constante durante la semana, viéndose alterada únicamente por el “evento del partido”.

### **3.4.6. Índice de Hooper según el día.**

Scott y Lovell (2018) en su estudio realizado con jugadoras de fútbol profesional encontraron una correlación moderada/baja entre la carga de entrenamiento, medida a partir de RPE (Foster et al., 2001), y el índice de bienestar de Hooper del día después. Esto podría ser debido a que la carga de los entrenamientos, posiblemente, no tiene la suficiente relevancia para alterar el estado de bienestar 24 horas después.

Seguramente si se hubiera utilizado la carga de partido, se habrían hallado correlaciones mayores, ya que como hemos visto en el presente estudio, la carga que reciben las jugadoras durante el partido es significativamente mayor que en los entrenamientos, provocando también, una fatiga significativamente superior el día postpartido que todos los demás días.

En las semanas con dos partidos se encontró un Índice de Hooper significativamente superior (estado con mas fatiga) que en las semanas que había solamente un partido (Clemente et al., 2017). Estos resultados, junto a los expuestos durante todo el trabajo, apoyan la idea de que el partido genera mucha más fatiga y tiene más impacto en el organismo que las sesiones de entrenamiento.

En cuanto a la dinámica del índice de Hooper durante la semana, se podrían establecer 3 bloques entre los que existirían diferencias significativas entre sí, del mismo modo que se ha realizado en los apartados de fatiga general y daño muscular.

El bloque postpartido se correspondería con el día +1 y sería el momento de la semana donde el bienestar se mostraría más bajo como consecuencia del partido disputado el día anterior.

El bloque intermedio se correspondería con los días -4, -3 y -2 y se mostrarían unos valores de bienestar superiores a los postpartido, pero inferiores a los del bloque prepartido, ya que mediante la carga de entrenamiento que se suministra durante estos días se mantiene constante el bienestar y no mejoran los valores hasta que no cesa la carga.

Por último, el bloque prepartido se correspondería con los días -1 y el día de partido donde el bienestar mostrado por las jugadoras es el mejor de toda la semana.

En algunas investigaciones se ha utilizado el Índice de Hooper para el control de carga comprobando posibles correlaciones con variables de carga interna como la percepción subjetiva de esfuerzo (Haddad et al., 2013; Polito et al., 2017) en las que no se han encontrado asociaciones. Esto podría ser debido a que Hooper y Mackinnon (1995) propusieron este instrumento como un medio para conocer el estado de los jugadores y/o detectar un posible sobreentrenamiento y no un medio para controlar la carga de entrenamiento.

### **3.4.7. Variables relacionadas con la fatiga de titulares y suplentes.**

De los resultados obtenidos se puede inferir que el día menos 4 (considerado por los profesionales como el día en el que la recuperación ya se ha completado y que por esta razón se suministra una carga de entrenamiento alta), el estado de las jugadoras no era el mismo al comparar las que jugaron como titulares y las que no lo fueron e hicieron por tanto trabajo compensatorio el día posterior a la disputa del partido.

El día menos 4 el daño muscular fue menor y la fatiga tendió a ser más baja por parte de las jugadoras que no jugaron el partido e hicieron compensatorio el día post partido, mientras que el tiempo relativo en test de velocidad tendió a ser mayor para estas jugadoras, es decir, estuvieron más lentas y su rendimiento en sprint fue peor.

Saw et al. (2016) en su revisión establecieron que, en lugar de las medidas objetivas, las medidas subjetivas son más apropiadas y sensibles para conocer el efecto provocado por el entrenamiento y/o la competición. Si, de acuerdo con esta afirmación, tuviéramos más en cuenta las medidas subjetivas el día menos 4, se establecería que las jugadoras suplentes están en un mejor estado de recuperación que las jugadoras que fueron titulares en el partido anterior.

Pollak et al., (2014) mostraron que las concentraciones de metabolitos inyectados en el músculo esquelético en estado de reposo evocaban unas sensaciones relacionadas con el dolor y otras no

relacionadas con el dolor (como sensaciones relacionadas con la presión, el movimiento y el calor)

Estas concentraciones de metabolitos estimularon las aferencias musculares de manera similar a lo que se ha demostrado durante el ejercicio, aunque la inyección de metabolitos en el músculo esquelético en reposo podría no generar un aumento de la sensación de esfuerzo o fatiga (Barry y Enoka, 2007).

En relación a estos argumentos una posible explicación a los resultados obtenidos podría ser que el día menos 4 las jugadoras suplentes que realizaron el trabajo compensatorio con 48 horas de antelación, en relación a los hallazgos del experimento de Pollak et al. (2014), tuvieran un aumento de metabolitos en músculo ocasionando sensaciones distintas al dolor o daño muscular, pero suficientes para limitar el rendimiento en el test de 10 metros y no percibieran el dolor o fatiga que sí que sintieron las jugadoras titulares, probablemente debido a la carga mayor que tuvieron que soportar durante el partido.

Por otra parte, la correlación del test de 10 metros con la fatiga general fue significativa pero muy baja y no fue significativa con el daño muscular percibido. Esto se podría justificar al suponer que el test de velocidad y la percepción del estado son sensibles a fatigas de tipología distinta.

Las jugadoras que compensaron el día posterior al partido podrían estar más lentas en el test de velocidad el día -4 debido a una posible fatiga neuromuscular o periférica más elevada como resultado de la cercanía del entrenamiento compensatorio.



Por otro lado las jugadoras que jugaron el partido, debido al fuerte impacto de la competición, reportaron una mayor percepción de fatiga y daño muscular el día -4 probablemente debido a que el evento del partido podría provocar una fatiga general que se prolongue más en el tiempo que la fatiga neuromuscular generada mediante el trabajo compensatorio del entrenamiento.

Tal y como afirman Duarte et al. (2018) desde el punto de vista del origen funcional de la fatiga encontramos dos tipos de fatiga: la fatiga central y la fatiga periférica. El proceso de fatiga cuyos factores metabólicos afectan a la musculatura es la fatiga muscular, mientras que el mismo proceso metabólico que afecta al Sistema Nervioso Central se denomina fatiga central (Lehmann et al., 1993; Minett y Duffield, 2014).

Otros autores afirman que, en cuanto a los diferentes tipos de fatiga, la fatiga central parece ser la causa principal del descenso de la fuerza máxima voluntaria (Rampin et al., 2012) y la fatiga periférica parece estar más relacionada con el daño muscular y la inflamación (Robineau et al., 2012).

En este sentido, Sedano et al. (2013) atribuye el rendimiento de resistencia a dos elementos. Por un lado, los factores centrales, por otro lado, los factores periféricos (los relacionados con las características neuromusculares). Según esta afirmación, se podría inferir que un descenso del rendimiento puede estar provocado por cualquiera de los dos factores.

La percepción de daño muscular (DOMS) y alteraciones fisiológicas (daño muscular, inflamatorio e inmunológico) como indicadores de fatiga, fue mayor en el partido real (11 contra 11) que en la simulación de partido. Sin embargo no se encontraron diferencias en el rendimiento neuromuscular medido mediante el test de velocidad y de salto (Silva et al., 2017), lo que podría llevar a pensar, tal y como se ha propuesto anteriormente, que el test de velocidad y la percepción del fatiga y de daño muscular podrían medir fatigas de tipología distinta.

En la misma línea, autores como Warren, Lowe y Armstrong (1999) reportan resultados distintos, en cuanto a percepción y potencia, al encontrar que 48 horas después de la simulación del partido hubo un descenso alto en el pico de potencia y solamente un cambio moderado en el daño muscular referido a isquiotibiales, posiblemente debido a que igual que en los hallazgos reportados, la percepción y el descenso de rendimiento muscular podrían evolucionar de forma distinta.

Por otro lado según Nédélec et al. (2012) el proceso de recuperación o el estado de bienestar tras el partido presenta, una alta variabilidad interindividual (Ratel et al., 2003) que puede estar ligado a muchos factores que en ocasiones son impredecibles.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede encontrar una posible explicación a la alta variabilidad del estado de las jugadoras, debido posiblemente a que unos jugadores juegan partido y otros no, o

que el estímulo intenso (partido o entrenamiento compensatorio) se suele realizar en días distintos.

Teniendo en cuenta dicha idea se podría planificar o periodizar el entrenamiento con el objetivo de que la variabilidad de fatiga o bienestar entre sujetos sea menor con el fin de que todos los miembros del equipo puedan tolerar la carga de entrenamiento de forma similar.

#### **3.4.8. Relación entre las variables relacionadas con la fatiga.**

A diferencia de los resultados obtenidos en esta investigación, Nédélec et al (2014) en su estudio realizado con jugadores de fútbol profesional, encontraron una relación significativa ( $r=-0,61$ ;  $p<0,01$ ) entre descenso de la velocidad máxima en sprint y aumento de daño muscular 24 horas después del partido.

Posiblemente en el presente trabajo no se encuentra correlación debido a que el tiempo en el test de 10 metros no es sensible únicamente al suministro de la carga, sino que podríamos encontrar valores menores después de descansos o de días de poco entrenamiento ya que el músculo necesita de una activación previa para conseguir un rendimiento óptimo (Maloney, Turner y Fletcher, 2014; McMaster, Gill, Cronin y McGuigan, 2014; Nikbakht, Keshavarz y Ebrahim, 2011; Pritchard et al., 2015). Además, el daño muscular percibido es subjetivo pudiendo seguir dinámicas distintas o medir tipologías de cargas distintas respecto al test de velocidad tal y como se ha mostrado previamente.

La correlación más alta que se obtuvo fue entre la percepción de la fatiga general y la percepción del daño muscular, variables altamente

relacionadas y que responden de la misma forma ante el estímulo de la carga.

Es comúnmente aceptado que los trastornos del sueño están relacionados con los signos atribuibles al estrés en deportistas (Kubitz, 1996; Fu, 1999; Youngstedt, Kripke y Elliott, 1999). En esta línea, se encontró una correlación positiva moderada entre el estrés y la calidad de sueño mostrando que existe una relación entre el estrés y la calidad de sueño

La correlación significativa baja entre el estrés y la calidad de sueño con las variables rendimiento en el test de velocidad, fatiga y daño podría ser justificada desde el punto de vista de que una alteración en el Sistema Nervioso Central, cuyos indicios se deberían a las modificaciones en el estrés o la calidad de sueño, podría estar asociado a estados de fatiga y alteraciones en el rendimiento deportivo (Buchheit et al., 2007; Hautala et al., 2009, Minett y Duffield, 2014).

### 3.5. Aplicaciones prácticas

Debido a la que la coorrelación entre el TRIMP y el RPE es muy elevada, se podría considerar el RPE como un método válido en jugadoras de fútbol profesional para conocer la carga de entrenamiento interna. Asimismo, es un procedimiento sencillo, que carece de coste económico, y cuya obtención de datos no requiere tanto tiempo como los demás métodos.

Al comprobar que la carga de entrenamiento interna recibida por las jugadoras suplentes en el entrenamiento compensatorio es muy inferior a la que reciben las jugadoras titulares durante el partido (es el estímulo más elevado de la semana), se podría deducir que una parte de las jugadoras no reciben el estímulo suficiente.

Además, tal y como se ha comprobado en la presente tesis, los días -2 y -1 suelen ser días de muy baja carga debido a la inmediatez de la competición, el día de partido las suplentes no reciben carga y el día +2 los equipos suelen tener el día de descanso.

Teniendo en cuenta esta situación, las jugadoras suplentes durante los 5 días (entre el -2 y el +2) solo tendrían un estímulo relevante (muy inferior al de partido): el día +1 en el entrenamiento compensatorio.

Asumiendo que en todos los equipos existen jugadores cuya condición de suplente se prolonga en el tiempo, es probable que no estén recibiendo un estímulo adecuado que les permita estar a un nivel de forma óptimo. En caso de que la situación les exija competir se

encontrarán en inferioridad de condiciones respecto a sus compañeros titulares.

Para evitar que el estado de forma de un grupo determinado de jugadoras descendiera durante la temporada, se debería incrementar la carga de entrenamiento que se suministra a las suplentes durante todos estos días donde no reciben prácticamente estímulo. Además sería una buena solución intentar sincronizar dicho estímulo con el propio del partido, es decir, realizar el entrenamiento compensatorio el día de partido con el objetivo de intentar que la dinámica de carga y recuperación sea la misma para todos los jugadores y que la planificación del entrenamiento sea más funcional.

Tal y como se ha comprobado en el presente estudio, el evento del partido es el momento donde las jugadoras reciben la carga más alta de la semana (prácticamente un 50% del total semanal). Con el objetivo de que las jugadoras reciban un estímulo parecido al de la competición, se debería realizar más de un entrenamiento compensatorio para suplir mediante un mayor volumen la imposibilidad de simular la intensidad del partido en un entrenamiento.

Habitualmente, en la mayoría de equipos de élite, el tercer día después del partido es un día de entrenamiento intenso, al considerarse que los jugadores ya se han recuperado de la fatiga generada por el partido. Sin embargo, los resultados de esta tesis muestran que 3 días después del partido las jugadoras titulares y las suplentes no están en las mismas condiciones (en cuanto a variables relacionadas con la

fatiga). Por esta razón, además de monitorizar individualmente el proceso de fatiga de cada jugador, se propone tener en cuenta si los jugadores han sido titulares o suplentes para ajustar el entrenamiento y proponer determinados estímulos en función a las necesidades de cada jugador.

Los resultados muestran que cada día de la semana la carga de entrenamiento interna es diferente. Este hallazgo podría ser útil para los entrenadores ya que el tomar los valores medios diarios de sus equipos como referencia, les permitiría controlar periódicamente si el entrenamiento ha sido suficiente o excesivo para el día de la semana en el que se encuentren.

Del mismo modo, en cuanto a las variables de fatiga, al conocer que los valores son diferentes los distintos días de la semana, se podrían utilizar unos valores medios para cada equipo o jugador como referencia, que permitan conocer la dinámica de recuperación y comparar durante las semanas competitivas. De esta forma se podría comprobar diariamente si la recuperación de cada jugadora está siendo la esperada o por el contrario hay algún impedimento.

### **3.6. Limitaciones del estudio**

Las limitaciones existentes en dicha investigación se detallan a continuación:

- La cantidad de muestra, en lo que respecta a jugadoras suplentes, es reducida debido limitado número de futbolistas que conforman la plantilla.
- Debido a que la superficie de juego variaba durante el periodo de recogida de datos, se tuvo únicamente en cuenta la muestra de rendimiento en sprint en 3 tipos de día (en los que la superficie de juego fue la misma), con el fin de no sesgar el estudio.
- El presente trabajo estudia la dinámica de carga y fatiga o bienestar en el periodo competitivo de jugadoras pertenecientes a un único equipo de fútbol femenino, lo que se concibe como una muestra representativa del fútbol femenino de élite. Sin embargo, la realización de este estudio en otros equipos permitiría la generalización de las conclusiones establecidas.



#### **4. Conclusiones**

Existe una correlación positiva muy alta entre la carga de entrenamiento interna medida a partir de la frecuencia cardiaca (TRIMP de Banister) y la carga de entrenamiento interna medida a partir de la percepción subjetiva del esfuerzo.

Existen diferencias en los distintos días de la semana sobre el volumen de trabajo de la sesión siendo el 0 (partido) el día con más volumen y los días +1 y -1 los días con menos volumen.

Existen diferencias en los distintos días de la semana sobre la carga de entrenamiento objetiva a partir de la frecuencia cardiaca, siendo el 0 (partido) el día con más carga y los días +1, -2 y -1 los días con menos carga.

Existen diferencias en los distintos días de la semana sobre la carga de entrenamiento subjetiva a partir de la percepción de esfuerzo, siendo el 0 (partido) el día con más carga y los días +1, -2 y -1 los días con menos carga.

Existen diferencias en los distintos días de la semana sobre el rendimiento en el test de 10 metros, siendo el +1 el día en que las jugadoras estaban más lentas, mejorando la velocidad conforme pasaban los días a partir de ese día.

Existen diferencias en los distintos días de la semana sobre la fatiga general percibida, siendo el día 0 (partido) el día con menos fatiga mostrada seguida del -1, mientras el día con más fatiga resultó ser el día +1.

Existen diferencias en la calidad de sueño percibida en los distintos días de la semana, siendo el día +1 el día con menor calidad de sueño mostrada.

Existen diferencias en el daño muscular percibido los distintos días de la semana, siendo el día 0 (partido) el día con menos daño muscular seguido del -1, mientras que el día con más daño resultó ser el día +1.

Existen diferencias en el estrés percibido en los distintos días de la semana, siendo el día 0 y el +1 los días con más estrés y el día -1 el día con menos estrés.

Existen diferencias, en un equipo de fútbol femenino profesional, entre la carga interna del partido y la del entrenamiento compensatorio de las jugadoras suplentes el día +1, siendo más alta la carga del partido.

Existen diferencias, en un equipo de fútbol femenino profesional, entre la carga interna de los entrenamientos de una semana de competición y la carga interna de los entrenamientos en una semana sin competición, siendo la de esta última más elevada.

La fatiga medida a través del rendimiento relativo en el test de sprint de 10 metros el día -4, tiende a verse menos afectada en las jugadoras que jugaron partido y descansaron en el día +1 que en las jugadoras que descansaron en el partido e hicieron entrenamiento compensatorio el día +1.

El daño muscular percibido el día -4, tiende a ser mayor en las jugadoras que jugaron partido y descansaron en el día +1 que en las jugadoras que descansaron en el partido e hicieron entrenamiento compensatorio el día +1.

La fatiga general percibida el día -4, tendió a ser superior entre las jugadoras titulares, sin embargo no se apreció esta tendencia ni en la calidad de sueño percibida, ni en el estrés percibido ni en el Índice de Hooper.

Prácticamente todas las variables relacionadas con la fatiga correlacionaron de forma significativa positiva. Las correlaciones de mayor magnitud se dieron entre daño muscular percibido y fatiga general percibida (alta) por un lado, y entre estrés percibido y calidad de sueño percibido (moderada) por otro.



### 5. Bibliografía

Aguilar, J., Calahorro, F., y Moral, J. (2009). La condición física y el entrenamiento: objetivos y principios. *TRANCES Revista de Transmisión del Conocimiento Educativo y de la Salud*. 1(5), 222-233.

Akenhead, R., Harley, J. A., y Tweddle, S. P. (2016). Examining the External Training Load of an English Premier League Football Team With Special Reference to Acceleration. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 30(9), 2424–2432.

Akkurt, S., Sucan, S., Gumus, A., Karakus, M., Yilmaz, A., y Saka, T. (2015). Comparison of muscle damage in Turkish collegian soccer players after playing matches on artificial and natural turf fields. *The Anthropologist*, 20(3), 423–429.

Akubat, I., Patel, E., Barrett, S., y Abt, G. (2012). Methods of monitoring the training and match load and their relationship to changes in fitness in professional youth soccer players. *Journal of sports sciences*, 30(14), 1473–1480.

Álvarez ,C. (1992) *La preparación física del fútbol basada en el atletismo*, Madrid, España: Gymnos.

Alentorn-Geli, E., Alvarez-Diaz, P., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Rius, ... y Cugat, R. (2015). Assessment of gastrocnemius tensiomyographic neuromuscular characteristics as risk factors for anterior cruciate ligament

injury in male soccer players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(9), 2502-2507.

Alexiou, H., y Coutts, A. J. (2008). A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(3), 320–330.

Alghannam, A. F. (2012). Metabolic limitations of performance and fatigue in football. *Asian journal of sports medicine*, 3(2), 65.

Allen, D. G., Lamb, G. D., y Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews*, 88(1), 287–332.

Alonso, D. de O., Forjaz, C. L. de M., Rezende, L. O., Braga, A. M. F., Barretto, A. C. P., Negrão, C. E., y Rondon, M. U. P. B. (1998). Heart rate response and its variability during different phases of maximal graded exercise. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, 71(6), 787–792.

Andersson, H., Bøhn, S. K., Raastad, T., Paulsen, G., Blomhoff, R., y Kadi, F. (2010). Differences in the inflammatory plasma cytokine response following two elite female soccer games separated by a 72- h recovery. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(5), 740-747.

Andersson, H., Ekblom, B., y Krstrup, P. (2008a). Elite football on artificial turf versus natural grass: movement patterns,

technical standards, and player impressions. *Journal of sports sciences*, 26(2), 113–122.

Andersson, H. M., Raastad, T., Nilsson, J., Paulsen, G., Garthe, I., y Kadi, F. (2008b). Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 40(2), 372–380.

Andrade F., A., Pimenta, E. M., Moreira, D. G., Sillero-Quintana, M., Marins, J. C. B., Morandi, R. F., Kanope T., y Garcia, E. S. (2017). Effect of a professional soccer match in skin temperature of the lower limbs: a case study. *Journal of exercise rehabilitation*, 13(3), 330-334.

Angeli, A., Minetto, M., Dovio, A., y Paccotti, P. (2004). The overtraining syndrome in athletes: a stress-related disorder. *Journal of endocrinological investigation*, 27(6), 603-612.

Arce, R.E. (2016). Mecanismos fisiológicos de la fatiga neuromuscular. *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica*, 72(615), 461-464.

Arcos, A. L., Yanci, J., Mendiguchia, J., Salinero, J. J., Brughelli, M., y Castagna, C. (2014). Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular performance in professional soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 9(3), 480–488.

- Armstrong, L. E., y Vanheest, J. L. (2002). The unknown mechanism of the overtraining syndrome. *Sports Medicine*, 32(3), 185-209.
- Arnason, A. (2009). ¿Cuál es la evidencia científica en los programas de prevención de la lesión muscular?. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 44(164), 174-178.
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., y Bahr, R. (2004). Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 36(2), 278-285.
- Ascensão, A., Leite, M., Rebelo, A. N., Magalhães, S. y Magalhães, J. (2011). Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a oneoff soccer match. *Journal of Sports Sciences*, 29(3), 217–225.
- Ascensão, A., Rebelo, A., Oliveira, E., Marques, F., Pereira, L., y Magalhães, J. (2008). Biochemical impact of a soccer match—analysis of oxidative stress and muscle damage markers throughout recovery. *Clinical biochemistry*, 41(10), 841–851.
- Astrand, P.-O., y Rodahl, K. (1986). *Physiological basis of exercise. Text book of work physiology*, Nueva York, EEUU: McGraw-Hill
- Aubert, A. E., Seps, B., y Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports medicine*, 33(12), 889–919.



- Avela, J., y Komi, P. V. (1998). Interaction between muscle stiffness and stretch reflex sensitivity after long-term stretch-shortening cycle exercise. *Muscle y Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 21(9), 1224-1227.
- Badin, O. O., Smith, M. R., Conte, D., y Coutts, A. J. (2016). Mental fatigue: Impairment of technical performance in small-sided soccer games. *International journal of sports physiology and performance*, 11(8), 1100–1105.
- Baechle, T. R., y Earle, R. W. (Eds.). (2007). *Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico*, Madrid, España: Ed. Médica Panamericana.
- Bailey, D. M., Erith, S. J., Griffin, P. J., Dowson, A., Brewer, D. S., Gant, N., y Williams, C. (2007). Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal of sports sciences*, 25(11), 1163–1170.
- Balaguer, I., González, L., Fabra, P., Castillo, I., Mercé, J. y Duda, J. L. (2012). Coaches' interpersonal style, basic psychological needs and the well- and ill-being of young soccer players: A longitudinal analysis, *Journal of Sports Science*, 30 (15), 1619-1629
- Bambino, T. H., y Hsueh, A. J. (1981). Direct inhibitory effect of glucocorticoids upon testicular luteinizing hormone receptor

and steroidogenesis in vivo and in vitro. *Endocrinology*, 108(6), 2142-2148.

Banfi, G., Colombini, A., Lombardi, G., y Lubkowska, A. (2012). Metabolic markers in sports medicine. *Advances in clinical chemistry*, 56(1): 2-45.

Bangsbo, J. (1993a). Energy demands in competitive soccer. *Journal of sports sciences*, 12, S5–12.

Bangsbo, J. (1993b). The physiology of soccer—with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica. Supplementum*, 619, 1–155.

Bangsbo, J. (1994). Physical conditioning. En *Handbook of Sports Medicine and Science Football (soccer)*. B. Ekblom (ed). Oxford, Inglaterra: Blackwell Publishing Ltd.

Bangsbo, J. (1997). Physiology of muscle fatigue during intense exercise. En *Clinical Pharmacology of Sport and Exercise*. Elsevier Science. Recuperado a partir de <http://www.forskningsdatabasen.dk/en/catalog/2282303821>

Bangsbo, J., Iaia, F. M., y Krstrup, P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test. *Sports medicine*, 38(1), 37–51.

Bangsbo, J., y Mohr, M. (2005). Variations in running speeds and recovery time after a sprint during top-class soccer matches. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 37(5), S87.

- Bangsbo, J., Mohr, M., y Krstrup, P. (2006a). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences*, 24(7), 665–674.
- Bangsbo, J., Mohr, M., Poulsen, A., Perez-Gomez, J., y Krstrup, P. (2006b). Training and testing the elite athlete. *J Exerc Sci Fit*, 4(1), 1–14.
- Bangsbo, J., Nielsen, J. J., Mohr, M., Randers, M. B., Krstrup, B. R. er, Brito, J., ... Krstrup, P. (2010). Performance enhancements and muscular adaptations of a 16-week recreational football intervention for untrained women. *Scandinavian journal of medicine y science in sports*, 20(1), 24–30.
- Bangsbo, J., Nørregaard, L., y Thorsoe, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian journal of sport sciences= Journal canadien des sciences du sport*, 16(2), 110–116.
- Banister, E. W. (1991). Modeling elite athletic performance. En: *Physiological Testing of Elite Athletes*, H. Green, J. McDougal, y H. Wenger (Eds.). Champaign: Human Kinetics, 1991, pp. 403–424.
- Barbany, J. (1990). *Fundamentos de fisiología del ejercicio y del entrenamiento*, Barcelona, España: Barcanova.
- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., y Bradley, P. S. (2014). The evolution of physical and technical performance

parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*, 35(13), 1095–1100.

Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes. *Sports medicine*, 36(9), 781-796.

Bartlett, F. (1951). The bearing of experimental psychology upon human skilled performance. *British journal of industrial medicine*, 8(4), 209.

Barry, B. K., y Enoka, R. M. (2007). The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. *Integrative and comparative biology*, 47(4), 465-473.

Besedovsky, H. O., y del Rey, A. (1996). Immune-neuro-endocrine interactions: facts and hypotheses. *Endocrine reviews*, 17(1), 64–102.

Billat, V. L., Slawinski, J., Bocquet, V., Chassaing, P., Demarle, A., y Koralsztein, J. P. (2001). Very Short (15 s-15 s) Interval-Training Around the Critical Velocity Allows Middle-Aged Runners to Maintain  $\dot{V}O_2$  max for 14 minutes. *International journal of sports medicine*, 22(03), 201–208.

Bishop, P. A., Jones, E., y Woods, A. K. (2008). Recovery from training: a brief review: brief review. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 22(3), 1015–1024.

- Blázquez, D. (1999). *Iniciación deportiva y edad escolar*, Barcelona, España: Inde.
- Boksem, M. A., Meijman, T. F., y Lorist, M. M. (2005). Effects of mental fatigue on attention: an ERP study. *Cognitive brain research*, 25(1), 107–116.
- Boksem, M. A., y Tops, M. (2008). Mental fatigue: costs and benefits. *Brain research reviews*, 59(1), 125–139.
- Bompa, T. O. (2003). *Periodización. Teoría y práctica del entrenamiento*, Barcelona, España: Editorial Hispano Europea.
- Bompa, T. O. (2009). *Entrenamiento de equipos deportivo*, Badalona, España: Paidotribo.
- Borg, G. (1962). A simple rating scale for use in physical work test. *Kungliga Fysiografiska Sällskapet i Lund Förhandlingar*, 32, 7–15.
- Borg, G., Hassmén, P., y Lagerström, M. (1987). Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 56(6), 679–685.
- Borg, G., Ljunggren, G., y Ceci, R. (1985). The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *European*

*journal of applied physiology and occupational physiology*, 54(4), 343–349.

Borresen, J., y Lambert, M. I. (2008). Quantifying training load: a comparison of subjective and objective methods. *International journal of sports physiology and performance*, 3(1), 16–30.

Bosco, C., Luhtanen, P., y Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 50(2), 273-282.

Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D., y Aubert, A. E. (2008). Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *British journal of sports medicine*, 42(9), 709–714.

Bouchard, C., y Rankinen, T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(6 Suppl), S446–51.

Boullosa, D. A., Abreu, L., Tuimil, J. L., y Leicht, A. S. (2012). Impact of a soccer match on the cardiac autonomic control of referees. *European journal of applied physiology*, 112(6), 2233–2242.

Boyd, L. J., Ball, K., y Aughey, R. J. (2011). The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in

Australian football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 311–321.

Bradley, P. S., Archer, D. T., Hogg, B., Schuth, G., Bush, M., Carling, C., y Barnes, C. (2016). Tier-specific evolution of match performance characteristics in the English Premier League: it's getting tougher at the top. *Journal of Sports Sciences*, 34(10), 980–987.

Brandão, M. R. F., Pereira, M. H. N., Oliveira, R. de, y Matsudo, V. K. R. (1989). Percepção do esforço: uma revisão da área. *Rev. bras. ciênc. mov*, 3(1), 34–40.

Bricout, V.A., DeChenaud, S., y Favre-Juvin, A. (2010). Analyses of heart rate variability in young soccer players: the effects of sport activity. *Autonomic Neuroscience*, 154(1), 112–116.

Bricout, V. A., Guinot, M., y Favre-Juvin, A. (2003). Questionnaire de surentraînement de la Société française de médecine du sport: relations entre les échelles visuelles analogiques et le score de surentraînement chez les sportifs. *Science y sports*, 18(6), 296–298.

Buchheit, M., Chivot, A., Parouty, J., Mercier, D., Al Haddad, H., Laursen, P. B., y Ahmaidi, S. (2010). Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *European journal of applied physiology*, 108(6), 1153–1167.

Buchheit, M., y Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Sports medicine*, 43(5), 313–338.

Buchheit, M., Laursen, P. B., y Ahmaidi, S. (2007). Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 293(1), H133–H141.

Buchheit, M., Laursen, P. B., Al Haddad, H., y Ahmaidi, S. (2009). Exercise-induced plasma volume expansion and post-exercise parasympathetic reactivation. *European journal of applied physiology*, 105(3), 471–481.

Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J. C., Bourdon, P. C., Voss, S. C., Hocking, J., ... y Coutts, A. J. (2013). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 550-555.

Buchheit, M., Simpson, M. B., Al Haddad, H., Bourdon, P. C., y Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European journal of applied physiology*, 112(2), 711–723.

Bush, M., Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., y Bradley, P. S. (2015). Evolution of match performance parameters for various



- playing positions in the English Premier League. *Human movement science*, 39, 1–11.
- Cairns, S. P., y Dulhunty, A. F. (1995). High-frequency fatigue in rat skeletal muscle: role of extracellular ion concentrations. *Muscle y nerve*, 18(8), 890–898.
- Camm, A. J., Malik, M., Bigger, J. T., BreitharSD, G., Cerutti, S., , ... Cohen, R. J. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*, 93(5), 1043–1065.
- Campos-Vazquez, M. A., Mendez-Villanueva, A., Gonzalez-Jurado, J. A., León-Prados, J. A., Santalla, A., y Suarez-Arrones, L. (2015). Relationships between rating-of-perceived-exertion-and heart-rate-derived internal training load in professional soccer players: a comparison of on-field integrated training sessions. *International journal of sports physiology and performance*, 10(5), 587-592.
- Capodaglio, E. M. (2001). Comparison between the CR10 Borg's scale and the VAS (visual analogue scale) during an arm-cranking exercise. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 11(2), 69–74.
- Carling, C., y Dupont, G. (2011). Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related

performance during professional soccer match-play? *Journal of sports sciences*, 29(1), 63–71.

Carling, C., Gregson, W., McCall, A., Moreira, A., Wong, D. P., y Bradley, P. S. (2015). Match running performance during fixture congestion in elite soccer: research issues and future directions. *Sports Medicine*, 45(5), 605–613.

Carlson, R. (1988). The socialization of elite tennis players in Sweden: An analysis of the players' backgrounds and development. *Sociology of sport journal*, 5(3), 241-256.

Casamichana, D., y Castellano, J. (2015). The relationship between intensity indicators in small-sided soccer games. *Journal of human kinetics*, 46(1), 119–128.

Casamichana, D., Castellano, J., Calleja-Gonzalez, J., San Román, J., y Castagna, C. (2013). Relationship between indicators of training load in soccer players. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 27(2), 369-374.

Castagna, C., Impellizzeri, F., Cecchini, E., Rampinini, E., y Alvarez, J. C. B. (2009). Effects of intermittent-endurance fitness on match performance in young male soccer players. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 23(7), 1954–1959.

Castillo, I., Duda, J., Álvarez, M-S., Mercé, J., y Balaguer, I. (2011). Clima motivacional, metas de logro de aproximación y

- evitación y bienestar en futbolistas cadetes *Psicología del Deporte*, 20(1):149-164.
- Chaffee, A., Yakuboff, M., y Tanabe, T. (2011). Responsiveness of the VAS and McGill pain questionnaire in measuring changes in musculoskeletal pain. *Journal of sport rehabilitation*, 20(2), 250-255.
- Chamari, K., Chaouachi, A., Hambli, M., Kaouech, F., Wisløff, U., y Castagna, C. (2008). The five-jump test for distance as a field test to assess lower limb explosive power in soccer players. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 22(3), 944-950.
- Chamari, K., Haddad, M., Wong, D. P., Dellal, A., y Chaouachi, A. (2012). Injury rates in professional soccer players during Ramadan. *Journal of sports sciences*, 30(sup1), S93-S102.
- Chappell, J. D., Herman, D. C., Knight, B. S., Kirkendall, D. T., Garrett, W. E., y Yu, B. (2005). Effect of fatigue on knee kinetics and kinematics in stop-jump tasks. *The American journal of sports medicine*, 33(7), 1022–1029.
- Chatzinikolaou, A., Fatouros, I. G., Gourgoulis, V., Avloniti, A., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., ... & Tofas, T. (2010). Time course of changes in performance and inflammatory responses after acute plyometric exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1389-1398.

- Chávez, A. V., Orozco, J. H. J., Marchán, L. D., y González, M. E. M. (2012). Correlación entre la escala de Borg modificada y la saturación de oxígeno durante la prueba de esfuerzo máxima en pacientes postinfartados. *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación*, 24(1), 5–9.
- Chen, J.-L., Yeh, D.-P., Lee, J.-P., Chen, C.-Y., Huang, C.-Y., Lee, S.-D., ... Kuo, C.-H. (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 25(6), 1546–1552.
- Chen, M. J., Fan, X., y Moe, S. T. (2002). Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: a meta-analysis. *Journal of sports sciences*, 20(11), 873–899.
- Cheung, K., Hume, P. A., y Maxwell, L. (2003). Delayed Onset Muscle Soreness. *Sports Medicine*, 33(2), 145-164.
- Chtourou, H., Hammouda, O., Souissi, H., Chamari, K., Chaouachi, A., y Souissi, N. (2011). The effect of Ramadan fasting on physical performances, mood state and perceived exertion in young footballers. *Asian Journal of Sports Medicine*, 2(3), 177-185.
- Clarke, N., Farthing, J. P., Norris, S. R., Arnold, B. E., y Lanovaz, J. L. (2013). Quantification of training load in Canadian football: application of session-RPE in collision-based team sports. *The*

---

*Journal of Strength y Conditioning Research*, 27(8), 2198-2205.

Clarkson, P. M., Nosaka, K., y Braun, B. (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(5), 512–520.

Clemente, F. M., Martins, F. M., y Mendes, R. S. (2014). Periodization based on small-sided soccer games: Theoretical considerations. *Strength y Conditioning Journal*, 36(5), 34-43.

Clemente, F. M., Mendes, B., Nikolaidis, P. T., Calvete, F., Carriço, S., y Owen, A. L. (2017). Internal training load and its longitudinal relationship with seasonal player wellness in elite professional soccer. *Physiology y behavior*, 179, 262-267.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd edn. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1), 155.

Cooper, R. G., Edwards, R. H., Gibson, H., y Stokes, M. J. (1988). Human muscle fatigue: frequency dependence of excitation and force generation. *The Journal of physiology*, 397(1), 585–599.

- Costa, E. C., Vieira, C. M., Moreira, A., Ugrinowitsch, C., Castagna, C., y Aoki, M. S. (2013). Monitoring external and internal loads of Brazilian soccer referees during official matches. *Journal of sports science y medicine*, 12(3), 559-64
- Coutts, A. J. (2014) In the age of technology, Occam's Razor still applies. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 741.
- Coutts, A. J., y Duffield, R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of science and Medicine in Sport*, 13(1), 133–135.
- Cumming, D. C., Quigley, M. E., y Yen, S. S. C. (1983). Acute suppression of circulating testosterone levels by cortisol in men. *The Journal of Clinical Endocrinology y Metabolism*, 57(3), 671-673.
- da Silva, J. F., Guglielmo, L. G., y Bishop, D. (2010). Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(8), 2115-2121.
- Dahmane, R., Djordjevič, S., y Smerdu, V. (2006). Adaptive potential of human biceps femoris muscle demonstrated by histochemical, immunohistochemical and mechanomyographical methods. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 44(11), 999.

- Dalen, T., Jørgen, I., Gertjan, E., Havard, H. G., y Ulrik, W. (2016). Player load, acceleration, and deceleration during forty-five competitive matches of elite soccer. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 30(2), 351-359.
- Davies, R. C., Eston, R. G., Fulford, J., Rowlands, A. V., y Jones, A. M. (2011). Muscle damage alters the metabolic response to dynamic exercise in humans: a <sup>31</sup>P-MRS study. *Journal of applied physiology*, 111(3), 782–790.
- Davis, J. M., y Bailey, S. P. (1997). Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 29(1), 45–57.
- Davis, J. A., y Brewer, J. (1992). Physiological characteristics of an international female soccer squad. *J Sports Sci*, 10(2), 142–143.
- Davis, J.M., and R. Fitts (1998). Mechanisms of muscular fatigue. En: J.L. Roitman (ed.) *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Baltimore: Williams & Wilkins, pp. 182-188.
- Dawson, B. (1996). *Periodization of speed and endurance training*. Sydney, Australia: Allen y Unwin.
- Dorn, T. W., Schache, A. G., y Pandy, M. G. (2012). Muscular strategy shift in human running: dependence of running speed

on hip and ankle muscle performance. *Journal of Experimental Biology*, 215(11), 1944-1956.

Drust, B., Reilly, T., y Cable, N. T. (2000). Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *Journal of sports sciences*, 18(11), 885–892.

Duarte, V. L., Dias, D. S., y Melo, H. C. S. (2008). Mecanismos moleculares da fadiga. *Brazilian Journal of biomotricity*, 2(2), 3-38.

Dudley, G. A., y Fleck, S. J. (1987). Strength and endurance training. *Sports Medicine*, 4(2), 79-85.

Duncan, M. J., Fowler, N., George, O., Joyce, S., y Hankey, J. (2015). Mental fatigue negatively influences manual dexterity and anticipation timing but not repeated high-intensity exercise performance in trained adults. *Research in Sports Medicine*, 23(1), 1–13.

Dupont, G., Nédélec, M., McCall, A., McCormack, D., Berthoin, S., y Wisløff, U. (2010). Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *The American journal of sports medicine*, 38(9), 1752-1758.

Earnest, C. P., Jurca, R., Church, Ts., Chicharro, J. L., Hoyos, J., y Lucia, A. (2004). Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during



the Tour of Spain. *British journal of sports medicine*, 38(5), 568–575.

Edholm, P., Krstrup, P., y Randers, M. B. (2015). Half- time re- warm up increases performance capacity in male elite soccer players. *Scandinavian journal of medicine y science in sports*, 25(1),40-49.

Edmonds, R. C., Sinclair, W. H., y Leicht, A. S. (2013). Effect of a training week on heart rate variability in elite youth rugby league players. *International journal of sports medicine*, 34(12), 1087–1092.

Edwards, S. (1994). The heart rate monitor book. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 26(5), 647.

Ekstrand, J., Waldén, M., y Häggglund, M. (2004). A congested football calendar and the wellbeing of players: correlation between match exposure of European footballers before the World Cup 2002 and their injuries and performances during that World Cup. *British journal of sports medicine*, 38(4), 493–497.

Esposito, F., Impellizzeri, F. M., Margonato, V., Vanni, R., Pizzini, G., y Veicsteinas, A. (2004). Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 93(1-2), 167–172.

- Fanchini, M., Ghielmetti, R., Coutts, A. J., Schena, F., y Impellizzeri, F. M. (2015). Effect of training-session intensity distribution on session rating of perceived exertion in soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 10(4), 426–430.
- Fatouros, I. G., Chatzinikolaou, A., Douroudos, I. I., Nikolaidis, M. G., Kyparos, A., Margonis, K., ... y Mandalidis, D. (2010). Time-course of changes in oxidative stress and antioxidant status responses following a soccer game. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(12), 3278–3286.
- Fessi, M. S., Zarrouk, N., Di Salvo, V., Filetti, C., Barker, A. R., y Moalla, W. (2016). Effects of tapering on physical match activities in professional soccer players. *Journal of sports sciences*, 34(24), 2189–2194.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., ... Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 15(1), 109–115.
- Foster, C., Hector, L. L., Welsh, R., Schrager, M., Green, M. A., y Snyder, A. C. (1995). Effects of specific versus cross-training on running performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(4), 367–372.
- Fu, Y. (1999). Current research situation of sports insomnia. *Journal of Chengdu Physical Education Institute*, 25(4), 56–60.

- Gabbett, T. J. (2010). The development of a test of repeated-sprint ability for elite women's soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1191-1194.
- Gabbett, T. J., y Mulvey, M. J. (2008). Time-motion analysis of small-sided training games and competition in elite women soccer players. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 22(2), 543-552.
- Gabbett, T., Jenkins, D., y Abernethy, B. (2010). Physical collisions and injury during professional rugby league skills training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(6), 578-583.
- Gabbett, T., Wiig, H. y Spencer, M. (2013). Repeated high-intensity running and sprinting in elite women's soccer competition. *International journal of sports physiology and performance*, 8(2), 130-138.
- Gamelin, F. X., Berthoin, S., y Bosquet, L. (2006). Validity of the polar S810 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 38(5), 887-893.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological reviews*, 81(4), 1725-1789.
- Gaudino, P., Iaia, F. M., Alberti, G., Strudwick, A. J., Atkinson, G., y Gregson, W. (2013). Monitoring training in elite soccer players: systematic bias between running speed and metabolic

power data. *International journal of sports medicine*, 34(11), 963–968.

García , J.M., Navarro, M. y Ruíz, J.(1996). *Bases teóricas del entrenamiento deportivo*. Madrid, España: Gymnos.

García-Manso, J. M., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., De Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruiz, D., & Da Silva-Grigoletto, M. E. (2010). La tensiomiografía como herramienta de evaluación muscular en el deporte. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 3(3),98-102.

García-Verdugo, M.(2007). *Resistencia y entrenamiento. Una metodología práctica*. Barcelona, España: Paidotribo.

Garland, S. J., y Gossen, E. R. (2002). The muscular wisdom hypothesis in human muscle fatigue. *Exercise and sport sciences reviews*, 30(1), 45-49.

Girard, O., Bishop, D. J., y Racinais, S. (2013). Neuromuscular adjustments of the quadriceps muscle after repeated cycling sprints. *PloS one*, 8(5), e61793.

Girard, O., Mendez-Villanueva, A., y Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability Part I. *Sports medicine*, 41(8), 673–694.

Gastin, P. B. 2001. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*, 31 (10), 725-741.

- Gómez-Campos, R., Cossio-Bolaños, M. A., Brousett Minaya, M., y Hochmuller-Fogaca, R. T. (2010). Mecanismos implicados en la fatiga aguda. *Revista Internacional de medicina y ciencias de la actividad física y deporte*, 10(40), 537-55
- Gómez-Díaz, A. J., Bradley, P. S., Díaz, A., y Pallarés, J. G. (2013a). Percepción subjetiva del esfuerzo en fútbol profesional: relevancia de los indicadores físicos y psicológicos en el entrenamiento y la competición. *Anales de psicología*, 29(3), 656–661.
- Gómez-Díaz, A.J., Pallarés J. G., Díaz, A., y Bradley, P. S. (2013b). Cuantificación de la carga física y psicológica en fútbol profesional: diferencias según el nivel competitivo y efectos sobre el resultado en competición oficial. *Revista de psicología del deporte*, 22(2), 0463–469.
- Gomez-Piriz, P. T., Jiménez-Reyes, P., y Ruiz-Ruiz, C. (2011). Relation between total body load and session rating of perceived exertion in professional soccer players. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 25(8), 2100–2103.
- Gould, D., Kelly, D., Goldstone, L., y Gammon, J. (2001). Examining the validity of pressure ulcer risk assessment scales: developing and using illustrated patient simulations to collect the data INFORMATION POINT: Visual Analogue Scale. *Journal of clinical nursing*, 10(5), 697–706.

- Grant, S., Aitchison, T., Henderson, E., Christie, J., Zare, S., McMurray, J., y Dargie, H. (1999). A comparison of the reproducibility and the sensitivity to change of visual analogue scales, Borg scales, and Likert scales in normal subjects during submaximal exercise. *Chest Journal*, 116(5), 1208–1217.
- Green, H. J. (1997). Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *Journal of sports sciences*, 15(3), 247–256.
- Greig, M. (2008). The influence of soccer-specific fatigue on peak isokinetic torque production of the knee flexors and extensors. *The American journal of sports medicine*, 36(7), 1403-1409.
- Guerrero, M., Guiu-Comadevall, M., Cadefau, J. A., Parra, J., Balias, R., Estruch, A., Rodas G., Bedini JL. y Cussó, R. (2008). Fast and slow myosins as markers of muscle injury. *British journal of sports medicine*, 42(7), 581-584.
- Gutiérrez, A., Delgado, M., y Castillo, M. (1997). *Entrenamiento físico-deportivo y alimentación. De la infancia a la edad adulta*. Barcelona, España: Paidotribo
- Haddad, M., Behm, D., Tabben, M., y Chamari, K. (2014). Monitoring Training Load, Recovery, Overtraining and Upper respiratory Infection in Taekwondo. En *Performance Optimization in Taekwondo: From Laboratory to Field*. Nevada, EEUU: Omics Group eBooks.

- Haddad, M., Chaouachi, A., Wong, D. P., Castagna, C., Hambli, M., Hue, O., y Chamari, K. (2013). Influence of fatigue, stress, muscle soreness and sleep on perceived exertion during submaximal effort. *Physiology y behavior*, 119, 185–189.
- Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Dellal, A., y Chamari, K. (2017). Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Frontiers in neuroscience*, 11, 612.
- Häkkinen, K., Alen, M., y Komi, P. V. (1985). Changes in isometric force- and relaxation- time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta physiologica scandinavica*, 125(4), 573-585.
- Halsen, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(2), 139–147.
- Hammet, J. B., y Hey, W. T. (2013). Adaptaciones Neuromusculares al Entrenamiento Balístico de Corta Duración (4 Semanas) en Atletas Jóvenes Entrenados-Consultores Alto Rendimiento SL. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 27(2).
- Hather, B. M., Tesch, P. A., Buchanan, P., y Dudley, G. A. (1991). Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 143(2), 177-185.

- Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., y Tulppo, M. P. (2009). Individual responses to aerobic exercise: the role of the autonomic nervous system. *Neuroscience y Biobehavioral Reviews*, 33(2), 107–115.
- Hedelin, R., Bjerle, P., y Henriksson-Larsen, K. (2001). Heart rate variability in athletes: relationship with central and peripheral performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(8), 1394–1398.
- Hellsten, Y., Richter, E. A., Kiens, B., y Bangsbo, J. (1999). AMP deamination and purine exchange in human skeletal muscle during and after intense exercise. *The Journal of Physiology*, 520(3), 909–920
- Hernández-Álvarez, J. L., del-Campo-Vecino, J., Martínez-de-Haro, V., y Moya-Morales, J. M. (2010). Percepción de esfuerzo en Educación Física y su relación con las directrices sobre actividad física. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 10(40), 7-10
- Hickson, R. C. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 45(2-3), 255-263.
- Hildebrandt, C., Raschner, C., y Ammer, K. (2010). An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors*, 10(5), 4700-4715.



- Hoff, J., Wisløff, U., Engen, L. C., Kemi, O. J., & Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British journal of sports medicine*, 36(3), 218-221.
- Hoffman, J. R., Nusse, V., y Kang, J. (2003). The effect of an intercollegiate soccer game on maximal power performance. *Canadian journal of applied physiology*, 28(6), 807-817.
- Hooper, S. L., y Mackinnon, L. T. (1995). Monitoring overtraining in athletes. *Sports medicine*, 20(5), 321-327.
- Hooper, S. L., Mackinnon, L. T., Howard, A. L. F., Gordon, R. D., y Bachmann, A. W. (1995). Markers for monitoring overtraining and recovery. *Medicine y Science in Sports y Exercise*. 27(1), 106-112.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., y Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 41(1), 3.
- Howatson, G., y Van Someren, K. A. (2008). The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports medicine*, 38(6), 483-503.
- Hughes, M. G., Birdsey, L., Meyers, R., Newcombe, D., Oliver, J. L., Smith, P. M., ... y Kerwin, D. G. (2013). Effects of playing surface on physiological responses and performance variables

in a controlled football simulation. *Journal of sports sciences*, 31(8), 878-886.

Hyldahl, R. D., y Hubal, M. J. (2014). Lengthening our perspective: morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle & nerve*, 49(2), 155-170.

Hynynen, E. S. A., Uusitalo, A., Kontinen, N., y Rusko, H. (2006). Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Medicine & science in sports y exercise*, 38(2), 313-317.

Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Castagna, C., Reilly, T., Sassi, A., Iaia, F. M., y Rampinini, E. (2006). Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *International journal of sports medicine*, 27(06), 483-492.

Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Castagna, C., Bishop, D., Bravo, D. F., Tibaudi, A., y Wisloff, U. (2008). Validity of a repeated-sprint test for football. *International journal of sports medicine*, 29(11), 899-905.

Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A., Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(6), 1042-1047.

- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., y Marcora, S. M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of sports sciences*, 23(6), 583–592.
- Ispirlidis, I., Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Michailidis, I., Douroudos, I. y Alexiou, V. (2008). Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18(5), 423–431.
- Issurin, V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports medicine*, 40(3), 189–206.
- Iwasaki, K., Zhang, R., Zuckerman, J. H., y Levine, B. D. (2003). Dose-response relationship of the cardiovascular adaptation to endurance training in healthy adults: how much training for what benefit? *Journal of Applied Physiology*, 95(4), 1575–1583.
- Jamurtas, A. Z., Douroudos, I. I., Deli, C. K., Draganidis, D., Chatzinikolaou, A., Mohr, M., y Stampoulis, T. (2015). Iron status markers are only transiently affected by a football game. *Journal of sports sciences*, 33(20), 2088–2099.
- Jensen, K., y Larsson, B. (1992). Variations in physical capacity among the Danish national soccer team for women during a period of supplemental training. *Journal of Sports Sciences*, 10, 144–145.

Jeong, T.-S., Reilly, T., Morton, J., Bae, S.-W., y Drust, B. (2011). Quantification of the physiological loading of one week of «pre-season» and one week of «in-season» training in professional soccer players. *Journal of sports sciences*, 29(11), 1161–1166.

Jiménez, M., Torres-Luque, G., Fernández-García JC., y Alvero-Cruz JR. (Abril de 2015). Is outcome the most important modulator of rating of perceived effort in male and female badminton players?. En Zhu Chiulin (Presidencia). *5th World Racquet Sports Congress*. Congreso llevado a cabo en Suzhou, China.

Jobson, S. A., Passfield, L., Atkinson, G., Barton, G., y Scarf, P. (2009). The analysis and utilization of cycling training data. *Sports medicine*, 39(10), 833–844.

Jones, A. M. y Carter, H. 2000. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29 (6), 373-386.

Kanda, K., Sugama, K., Hayashida, H., Sakuma, J., Kawakami, Y., Miura, S., ... Suzuki, K. (2013). Eccentric exercise-induced delayed-onset muscle soreness and changes in markers of muscle damage and inflammation. *Exercise immunology review*, 19,74-87

Kellmann, M., y Kallus, K. W. (2001). *Recovery-stress questionnaire for athletes: User manual* . Champaign, IL: Human Kinetics.

- Kenttä, G., y Hassmén, P. (1998). Overtraining and recovery. A conceptual model. *Sports medicine*, 26(1), 1–16.
- Kleiger, R. E., Stein, P. K., y Bigger, J. T. (2005). Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 10(1), 88–101.
- Konrady, A. O., Rudomanov, O. G., Yacovleva, O. I., y Shlyakhto, E. V. (2001). Power spectral components of heart rate variability in different types of cardiac remodelling in hypertensive patients. *Medical Science Monitor*, 7(1), 58–63.
- Kreider, R. B., Fry, A. C., y O'Toole, M. L. E. (1998). Overtraining in sport. En *International Conference on Overtraining in Sport, Jul, 1996, U Memphis, Memphis, TN, US*. Human Kinetics.
- Krustrup, P., Mohr, M., Ellingsgaard, H., y Bangsbo, J. (2005). Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(7), 1242.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., y Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(6), 1165–1174.
- Krustrup, P., Ørtenblad, N., Nielsen, J., Nybo, L., Gunnarsson, T. P., Iaia, F. M., ... Bangsbo, J. (2011). Maximal voluntary contraction force, SR function and glycogen resynthesis during

the first 72 h after a high-level competitive soccer game. *European journal of applied physiology*, 111(12), 2987–2995.

Krustrup, P., Söderlund, K., Mohr, M., y Bangsbo, J. (2004). The slow component of oxygen uptake during intense, sub-maximal exercise in man is associated with additional fibre recruitment. *Pflügers Archiv*, 447(6), 855–866.

Krustrup, P., Zebis, M., Jensen, J. M., y Mohr, M. (2010). Game-induced fatigue patterns in elite female soccer. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 24(2), 437–441.

Kubitz, K. A. (1996). The effects of acute and chronic exercise on sleep: a meta-analytic review. *Sports Medicine*, 21(4), 277–291.

Lago-Peñas, C., Rey, E., Lago-Ballesteros, J., Casáis, L., y Domínguez, E. (2011). The influence of a congested calendar on physical performance in elite soccer. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(8), 2111–2117.

Legros, P. (1993). Le surentraînement: diagnostic des manifestations psychocomportementales précoces. *Science y Sports*, 8(2), 71–74.

Lehmann, M., Foster, C., y Keul, J. (1993). Overtraining in endurance athletes: a brief review. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 25(7), 854–862.

- Little, T., y Williams, A. G. (2007). Measures of exercise intensity during soccer training drills with professional soccer players. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 21(2), 367–371.
- Lorist, M. M., Boksem, M. A., y Ridderinkhof, K. R. (2005). Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 199–205.
- Lucía, A., Hoyos, J., Pérez, M., y Chicharro, J. L. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(10), 1777–1782.
- Magal, M., Webster, M. J., Sistrunk, L. E., Whitehead, M. T., Evans, R. K., y Boyd, J. C. (2003). Comparison of glycerol and water hydration regimens on tennis-related performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(1), 150-156.
- Magalhães, J., Rebelo, A., Oliveira, E., Silva, J. R., Marques, F., y Ascensão, A. (2010). Impact of Loughborough Intermittent Shuttle Test versus soccer match on physiological, biochemical and neuromuscular parameters. *European journal of applied physiology*, 108(1), 39.
- Malone, J. J., Di Michele, R., Morgans, R., Burgess, D., Morton, J. P., y Drust, B. (2015). Seasonal training-load quantification in elite English premier league soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 10(4), 489–497.

- Maloney, S. J., Turner, A. N., y Fletcher, I. M. (2014). Ballistic exercise as a pre-activation stimulus: a review of the literature and practical applications. *Sports medicine*, 44(10), 1347-1359.
- Malm, C., Ekblom, Ö., y Ekblom, B. (2004). Immune system alteration in response to two consecutive soccer games. *Acta Physiologica*, 180(2), 143-155.
- Mannion, A. F., Dolan, P. (1996). Relationship between myoelectric and mechanical manifestations of fatigue in the quadriceps femoris muscle group. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 74(5), 411–419.
- Manno, R. (1991). *Fundamentos del Entrenamiento Deportivo*. Barcelona, España: Paidotribo.
- Manzi, V., D’ottavio, S., Impellizzeri, F. M., Chaouachi, A., Chamari, K., y Castagna, C. (2010). Profile of weekly training load in elite male professional basketball players. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 24(5), 1399–1406.
- Manzi, V., Bovenzi, A., Impellizzeri, M. F., Carminati, I., y Castagna, C. (2013). Individual training-load and aerobic-fitness variables in premiership soccer players during the precompetitive season. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 27(3), 631-636.



- Marcora, S. M., Staiano, W., y Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of applied physiology*, 106(3), 857–864.
- Marins, J. C. B., Fernández-Cuevas, I., Ribot-Serrano, J., Garcia-Concepcion, M. A., Gomez Carmona, P., y Sillero-Quintana, M. (2012). Thermal response of the skin temperature on muscle and joint body areas after strength training by infrared thermography. *Thermology International*, 22(3), 119-120.
- Martin, K., Thompson, K. G., Keegan, R., Ball, N., y Rattray, B. (2015). Mental fatigue does not affect maximal anaerobic exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*, 115(4), 715-725.
- Martín-Rodríguez, S., Loturco, I., Hunter, A. M., Rodríguez-Ruiz, D., y Munguia-Izquierdo, D. (2017). Reliability and measurement error of tensiomyography to assess mechanical muscle function: A systematic review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(12), 3524-3536.
- Maso, F., Lac, G., Filaire, E., Michaux, O., y Robert, A. (2004). Salivary testosterone and cortisol in rugby players: correlation with psychological overtraining items. *British journal of sports medicine*, 38(3), 260-263.
- Maté-Muñoz, J. L., Isidori, E., y Garnacho-Castaño, M. V. (2015). Efectos a corto plazo en variables cardiorrespiratorias de 2 programas de entrenamiento de fuerza prescribiendo intensidad

de ejercicio con la RPE. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 10(28), 41-53.

Mathews, D. y Fox, E. (1976). *The physiological basis of physical education and athletics*. Filadelfia, EEUU: Saunders.

Matveyev, L. P. (1964). *Problem of periodization the sport training*. Moscú, Rusia: Fizkultura & Sport Publisher.

Matveyev, L. P. (1977). *Periodización del entrenamiento deportivo*. Madrid, España: Instituto Nacional de Educación Física.

Mazon, J., Gastaldi, A., Di Sacco, T., Cozza, I., Dutra, S., y Souza, H. (2013). Effects of training periodization on cardiac autonomic modulation and endogenous stress markers in volleyball players. *Scandinavian journal of medicine y science in sports*, 23(1), 114–120.

McKune, A. J., Semple, S. J., y Peters-Futre, E. M. (2012). Acute exercise-induced muscle injury. *Biology of Sport*, 29(1), 3-10.

McLean, B. D., Coutts, A. J., Kelly, V., McGuigan, M. R., y Cormack, S. J. (2010). Neuromuscular, endocrine, and perceptual fatigue responses during different length between-match microcycles in professional rugby league players. *International journal of sports physiology and performance*, 5(3), 367-383.

- McLester, J. R. (1997). Muscle contraction and fatigue. *Sports Medicine*, 23(5), 287–305.
- McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J., y McGuigan, M. (2014). A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Medicine*, 44(5), 603–623.
- McNair, D. M., Lorr, M., y Droppleman, L. (1981). *Profile of mood states: EDITS manual*. San Diego, California: Editorial and Industrial Testing Service.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., ... Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and science in sports and exercise*, 45(1), 186–205.
- Melanson, E. L., y Freedson, P. S. (2001). The effect of endurance training on resting heart rate variability in sedentary adult males. *European journal of applied physiology*, 85(5), 442–449.
- Mendez-Villanueva, A., Edge, J., Suriano, R., Hamer, P., y Bishop, D. (2012). The recovery of repeated-sprint exercise is associated with PCr resynthesis, while muscle pH and EMG amplitude remain depressed. *PloS one*, 7(12), e51977.

Mesa, J. A. M. (2013). Fatiga. Tipos y Causas. *Revista Cubana de Medicina del Deporte y Cultura Física.*, 8(3).

Minett, G. M., y Duffield, R. (2014). Is recovery driven by central or peripheral factors? A role for the brain in recovery following intermittent-sprint exercise. *Frontiers in physiology*, 5, 24.

Moalla, W., Fessi, M. S., Farhat, F., Nour, S., Wong, D. P., y Dupont, G. (2016). Relationship between daily training load and psychometric status of professional soccer players. *Research in Sports Medicine*, 24(4), 387-394.

Mohr, M., Draganidis, D., Chatzinikolaou, A., Barbero-Álvarez, J. C., Castagna, C., Douroudos, I., y Jamurtas, A. Z. (2016). Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three football games in 1 week in competitive male players. *European journal of applied physiology*, 116(1), 179-193

Mohr, M., Krstrup, P., Andersson, H., Kirkendall, D., y Bangsbo, J. (2008). Match activities of elite women soccer players at different performance levels. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 22(2), 341-349.

Mohr, M., Krstrup, P., y Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences*, 21(7), 519-528.

- Mohr, M., Krstrup, P., y Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: a brief review. *Journal of sports sciences*, 23(6), 593–599.
- Mohr, M., Krstrup, P., Nybo, L., Nielsen, J. J., y Bangsbo, J. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches—beneficial effect of re- warm- up at half- time. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 14(3), 156-162.
- Moreira, A., Bilsborough, J. C., Sullivan, C. J., Cianciosi, M., Aoki, M. S., y Coutts, A. J. (2015). Training periodization of professional Australian football players during an entire Australian Football League season. *International journal of sports physiology and performance*, 10(5), 566-571.
- Morgan, W., Brown, D., Raglin, J., O'connor, P., y Ellickson, K. (1987). Psychological monitoring of overtraining and staleness. *British Journal of Sports Medicine*, 21(3), 107-114.
- Morton, R. H., Fitz-Clarke, J. R., & Banister, E. W. (1990). Modeling human performance in running. *Journal of applied physiology*, 69(3), 1171-1177.
- Murray, N. B., Gabbett, T. J., y Chamari, K. (2014). Effect of different between-match recovery times on the activity profiles and injury rates of national rugby league players. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 28(12), 3476-3483.

Nagahara, R., Morin, J. B., y Koido, M. (2016). Impairment of sprint mechanical properties in an actual soccer match: a pilot study. *International journal of sports physiology and performance*, 11(7), 893-898.

Nakamura, F. Y., Pereira, L. A., Esco, M. R., Flatt, A. A., Moraes, J. E., Abad, C. C. C., y Loturco, I. (2017). Intraday and Interday Reliability of Ultra-Short-Term Heart Rate Variability in Rugby Union Players. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 31(2), 548–551.

Nédélec, M., Halson, S., Abaidia, A. E., Ahmaidi, S., y Dupont, G. (2015). Stress, sleep and recovery in elite soccer: a critical review of the literature. *Sports Medicine*, 45(10), 1387-1400.

Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., y Dupont, G. (2012). Recovery in soccer. *Sports Medicine*, 42(12), 997–1015.

Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., y Dupont, G. (2013). Physical performance and subjective ratings after a soccer-specific exercise simulation: comparison of natural grass versus artificial turf. *Journal of sports sciences*, 31(5), 529–536.

Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., y Dupont, G. (2014). The influence of soccer playing actions on the recovery kinetics after a soccer match. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 28(6), 1517-1523.

- Nielsen, J. J., Mohr, M., Klarskov, C., Kristensen, M., Krstrup, P., Juel, C., y Bangsbo, J. (2004). Effects of high-intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in human skeletal muscle. *The Journal of physiology*, 554(3), 857–870.
- Nielsen, O. B., Paoli, F., y Overgaard, K. (2001). Protective effects of lactic acid on force production in rat skeletal muscle. *The Journal of physiology*, 536(1), 161–166.
- Nikbakht, H., Keshavarz, S., y Ebrahim, K. (2011). The effects of tapering on repeated sprint ability (RSA) and maximal aerobic power in male soccer players. *American Journal of Scientific Research*, 30(1), 125-133.
- Noakes, T. D. (1992). Lore of running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(2), 277.
- Oña, A., Martínez, M., Moreno, F. y Ruíz, L.M.(1999). *Control y Aprendizaje Motor*. Madrid, España: Síntesis.
- Ozolin, P. (1974). *Posibilidades de los deportistas en la adaptación*. Liojkaya Atletika. Traducción por C.D.I.N.E.F., de Madrid, España.
- Pageaux, B., Lepers, R., Dietz, K. C., y Marcora, S. M. (2014). Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. *European journal of applied physiology*, 114(5), 1095–1105.

- Pageaux, B., Marcora, S., y Lepers, R. (2013). Prolonged mental exertion does not alter neuromuscular function of the knee extensors. *Medicine y Science in Sports y Exercise*. 45(12):2254-2264.
- Peña, G., Heredia, J. R., Lloret, C., Martín, M., y Da Silva-Grigoletto, M. E. (2016). Iniciación al entrenamiento de fuerza en edades tempranas: revisión. *Revista andaluza de Medicina del Deporte*, 9(1), 41-49.
- Pinnington, H. C., y Dawson, B. (2001). The energy cost of running on grass compared to soft dry beach sand. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(4), 416-430.
- Platonov, V. N., y Coll, R. (1991). *La adaptación en el deporte*. Barcelona, España: Paidotribo.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *European journal of applied physiology*, 112(11), 3729-3741.
- Polito, L. F. T., Figueira Jr, A. J., Miranda, M. L. J., Chtourou, H., Miranda, J. M., y Brandão, M. R. F. (2017). Psychophysiological indicators of fatigue in soccer players: A systematic review. *Science y Sports*, 32(1), 1-13.



- Pollak, K. A., Swenson, J. D., Vanhaisma, T. A., Huguen, R. W., Jo, D., Light, K. C., ... y Light, A. R. (2014). Exogenously applied muscle metabolites synergistically evoke sensations of muscle fatigue and pain in human subjects. *Experimental physiology*, 99(2), 368-380.
- Polman, R., Walsh, D., Bloomfield, J., y Nesti, M. (2004). Effective conditioning of female soccer players. *Journal of sports sciences*, 22(2), 191-203.
- Prado, A., Dufek, J., Navalta, J., Lough, N., y Mercer, J. (2017). A first look into the influence of triathlon wetsuit on resting blood pressure and heart rate variability. *Biology of sport*, 34(1), 77.
- Pritchard, H., Keogh, J., Barnes, M., & McGuigan, M. (2015). Effects and mechanisms of tapering in maximizing muscular strength. *Strength & Conditioning Journal*, 37(2), 72-83.
- Proietti, R., di Fronso, S., Pereira, L. A., Bortoli, L., Robazza, C., Nakamura, F. Y., y Bertollo, M. (2017). Heart Rate Variability Discriminates Competitive Levels in Professional Soccer Players. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 31(6), 1719-1725.
- Pumprla, J., Howorka, K., Groves, D., Chester, M., y Nolan, J. (2002). Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. *International journal of cardiology*, 84(1), 1-14.

- Pyne, D. B., Mujika, I., y Reilly, T. (2009). Peaking for optimal performance: Research limitations and future directions. *Journal of Sports Sciences*, 27(3), 195–202.
- Raastad, T., Owe, S. G., Paulsen, G., Enns, D., Overgaard, K., Crameri, R., ... Hallén, J. (2010). Changes in calpain activity, muscle structure, and function after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc* 42(1), 86-95,
- Rampinini, E., Bosio, A., Ferraresi, I., Petruolo, A., Morelli, A., y Sassi, A. (2011). Match-related fatigue in soccer players. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 43(11), 2161–2170.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Abt, G., Chamari, K., Sassi, A., y Marcora, S. M. (2007). Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *Journal of sports sciences*, 25(6), 659–666.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Azzalin, A., Ferrari, B. D., y Wisløff, U. (2008). Effect of match-related fatigue on short-passing ability in young soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(5), 934–942.
- Raposo, A. V. (2000). *Planificación y organización del entrenamiento deportivo*. Barcelona, España: Paidotribo.
- Ratel, S., Lazaar, N., Williams, C. A., Bedu, M., y Duche, P. (2003). Age differences in human skeletal muscle fatigue during high-

- intensity intermittent exercise. *Acta Paediatrica*, 92(11), 1248–1254.
- Rebelo, A., Brito, J., Seabra, A., Oliveira, J., Drust, B., y Krstrup, P. (2012). A new tool to measure training load in soccer training and match play. *International journal of sports medicine*, 33(04), 297–304.
- Reihmane, D., y Dela, F. (2014). Interleukin-6: possible biological roles during exercise. *European journal of sport science*, 14(3), 242–250.
- Reihmane, D., Jurka, A., y Tretjakovs, P. (2012). The Relationship Between Maximal Exercise- Induced Increases in Serum IL- 6, MPO and MMP- 9 Concentrations. *Scandinavian journal of immunology*, 76(2), 188–192.
- Reilly, T. (1994). Physiological aspects of soccer. *Biology of sport*, 11(1), 3–20.
- Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of sports sciences*, 15(3), 257–263.
- Reilly, T., y Borrie, A. (1992). Physiology applied to field hockey. *Sports Medicine*, 14(1), 10–26.

- Reilly, T, y Gilbourne, D. (2003). Science and football: a review of applied research in the football codes. *Journal of Sports Sciences*, 21(9), 693–705.
- Reilly T y Rigby M. (2002) Effect of an active warm-down following competitive soccer. In: Spinks W., Reilly T., Murphy A (eds). En *Science and Football IV* (pp 226-229). Londres, Inglaterra: E & F.N. Spon.
- Reilly, T., y Seaton, A. (1990). Physiological strain unique to field hockey. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 30(2), 142-146.
- Ribeiro, E., Ribeiro, C. F., y Tavares, P. (2016). Heart Rate Profile and Variability in Cross Country Cycling Athletes. *International Journal of Sports Science*, 6(1), 12–18.
- Ritchie, D., Hopkins, W. G., Buchheit, M., Cordy, J., y Bartlett, J. D. (2016). Quantification of training and competition load across a season in an elite Australian football club. *International journal of sports physiology and performance*, 11(4), 474-479.
- Robineau, J., Jouaux, T., Lacroix, M., y Babault, N. (2012). Neuromuscular fatigue induced by a 90-minute soccer game modeling. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 26(2), 555-562.

- Robson-Ansley, P. J., Gleeson, M., y Ansley, L. (2009). Fatigue management in the preparation of Olympic athletes. *Journal of sports sciences*, 27(13), 1409-1420.
- Rodacki, A. L. F., Fowler, N. E., y Bennett, S. J. (2002). Vertical jump coordination: fatigue effects. *Medicine y Science in sports y exercise*, 34(1), 105-116.
- Rodas, G., Pedret, C., Ramos, J., y Ortís, L. C. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardíaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (I). *Archivos de medicina del deporte* 123(1), 41-48.
- Rogalski, B., Dawson, B., Heasman, J., y Gabbett, T. J. (2013). Training and game loads and injury risk in elite Australian footballers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 499-503.
- Romagnoli, M., Sanchis-Gomar, F., Alis, R., Risso-Ballester, J., Bosio, A., Graziani, R. L., y Rampinini, E. (2016). Changes in muscle damage, inflammation, and fatigue-related parameters in young elite soccer players after a match. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 56(10), 1198-1205.
- Rossi, L., y Tirapegui, J. (1999). Aspectos atuais sobre exercício físico, fadiga e nutrição. *Rev Paul Educ Fís*, 13(1), 67-82.

- Rowbottom, D. G. (2000). Periodization of training. En: Exercise and Sport Science. Garrett W. E. Y Kirkendall D. T, (eds). Philadelphia PA: Lippincott Williams & Wilkins, pp. 499–512.
- Rowland, T. W. (1990). Developmental aspects of physiological function relating to aerobic exercise in children. *Sports Medicine*, 10(4), 255-266.
- Rozand, V., Pageaux, B., Marcora, S. M., Papaxanthis, C., y Lepers, R. (2014). Does mental exertion alter maximal muscle activation? *Frontiers in human neuroscience*, 8, 755.
- Russell, M., Sparkes, W., Northeast, J., Cook, C. J., Love, T. D., Bracken, R. M., y Kilduff, L. P. (2016). Changes in acceleration and deceleration capacity throughout professional soccer match-play. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 30(10), 2839–2844.
- Ruther, C. L., Golden, C. L., Harris, R. T., y Dudley, G. A. (1995). Hypertrophy, resistance training, and the nature of skeletal muscle activation. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 9(3), 155-159.
- Saka, T., Akova, B., Yazici, Z., Sekir, U., Gür, H., y Ozarda, Y. (2009). Difference in the magnitude of muscle damage between elbow flexors and knee extensors eccentric exercises. *Journal of sports science y medicine*, 8(1), 107.

- Salvo, V. D., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., y Drust, B. (2009). Analysis of High Intensity Activity in Premier League Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 30(03), 205-212.
- Saw, A. E., Main, L. C., y Gastin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(1), 281-291.
- Schmitt, L., Regnard, J., Auguin, D., & Millet, G. P. (2016). Monitoring training and fatigue with heart rate variability: case study in a swimming olympic champion. *Journal of Fitness Research*, 5(3), 38-45.
- Scott, B. R., Lockie, R. G., Knight, T. J., Clark, A. C., y de Jonge, X. A. (2013a). A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 195–202.
- Scott, D., y Lovell, R. (2018). Individualisation of speed thresholds does not enhance the dose-response determination in football training. *Journal of sports sciences*, 36(13), 1523-1532.
- Scott, T. J., Black, C. R., Quinn, J., y Coutts, A. J. (2013b). Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training in Australian football: a comparison of the CR10 and CR100 scales. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 27(1), 270–276.

Sedano, S., Marín, P. J., Cuadrado, G., y Redondo, J. C. (2013). Concurrent training in elite male runners: the influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(9), 2433-2443.

Shephard, R. J. (1999). Biology and medicine of soccer: an update. *Journal of Sports Sciences*, 17(10), 757-786.

Silva, J. R., Ascensão, A., Marques, F., Seabra, A., Rebelo, A., y Magalhães, J. (2013a). Neuromuscular function, hormonal and redox status and muscle damage of professional soccer players after a high-level competitive match. *European journal of applied physiology*, 113(9), 2193-2201.

Silva, J. R., Rebelo, A., Marques, F., Pereira, L., Seabra, A., Ascensão, A., y Magalhães, J. (2013b). Biochemical impact of soccer: an analysis of hormonal, muscle damage, and redox markers during the season. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(4), 432-438.

Silva, J. R., Rumpf, M. C., Hertzog, M., Castagna, C., Farooq, A., Girard, O., y Hader, K. (2017). Acute and Residual Soccer Match-Related Fatigue: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 48(3), 539-583.

Singh, F., Foster, C., Tod, D., y McGuigan, M. R. (2007). Monitoring different types of resistance training using session rating of



- perceived exertion. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(1), 34–45.
- Slattery, K. M., Wallace, L. K., Bentley, D. J., & Coutts, A. J. (2012). Effect of training load on simulated team sport match performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(2), 315-322.
- Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., y Marcora, S. M. (2016a). Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. *Med Sci Sports Exerc*, 48(2), 267–276.
- Smith, M. L., y Mitchell, J. H. (2000). Adaptaciones cardiorrespiratorias al entrenamiento. En M. Lloret (Ed.) *Manual de consulta para el control y la prescripción de ejercicio* (pp.87-94). Barcelona, España: Paidotribo.
- Smith, M. R., Zeuwts, L., Lenoir, M., Hens, N., De Jong, L. M., y Coutts, A. J. (2016b). Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. *Journal of sports sciences*, 34(14), 1297–1304.
- Soligard, T., Schwellnus, M., Alonso, J. M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., ... y Van Rensburg, C. J. (2016). How much is too much?(Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med*, 50(17), 1030-1041.

- Sparks, M., Coetzee, B., y Gabbett, T. J. (2016). Variations in high-intensity running and fatigue during semi-professional soccer matches. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 16(1), 122–132.
- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., y Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities. *Sports Medicine*, 35(12), 1025-1044.
- Stagno, K. M., Thatcher, R., y Van Someren, K. A. (2007). A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *Journal of Sports Sciences*, 25(6), 629-634.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., y Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer. *Sports medicine*, 35(6), 501–536.
- Stone, K. J., Hughes, M. G., Stembridge, M. R., Meyers, R. W., Newcombe, D. J., y Oliver, J. L. (2016). The influence of playing surface on physiological and performance responses during and after soccer simulation. *European journal of sport science*, 16(1), 42-49.
- Street, D., Nielsen, J.-J., Bangsbo, J., y Juel, C. (2005). Metabolic alkalosis reduces exercise-induced acidosis and potassium accumulation in human skeletal muscle interstitium. *The Journal of physiology*, 566(2), 481–489.

- Svensson, J. M. (2007). *The development of a soccer-specific high-intensity intermittent running protocol* (Tesis Doctoral). John Moores University, Liverpool.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., ... y Häkkinen, K. (2010). Strength training in endurance runners. *International journal of sports medicine*, 31(07), 468-476.
- Tarvainen, M. P., Niskanen, J.-P., Lipponen, J. A., Ranta-Aho, P. O., y Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV—heart rate variability analysis software. *Computer methods and programs in biomedicine*, 113(1), 210–220.
- Taylor, C. T., y Keely, S. J. (2007). The autonomic nervous system and inflammatory bowel disease. *Autonomic Neuroscience*, 133(1), 104–114.
- Thiel, C., Vogt, L., Bürklein, M., Rosenhagen, A., Hübscher, M., y Banzer, W. (2011). Functional overreaching during preparation training of elite tennis professionals. *Journal of human kinetics*, 28(1), 79–89.
- Thompson, D., Nicholas, C. W., y Williams, C. (1999). Muscular soreness following prolonged intermittent high-intensity shuttle running. *Journal of sports sciences*, 17(5), 387-395.

Thorlund, J. B., Aagaard, P., y Madsen, K. (2009). Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. *International journal of sports medicine*, 30(04), 273-278.

Thorpe, R., y Sunderland, C. (2012). Muscle damage, endocrine, and immune marker response to a soccer match. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 26(10), 2783–2790.

Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., y Gregson, W. (2015). Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 10(8), 958–964.

Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., y Gregson, W. (2016). Tracking Morning Fatigue Status Across In-Season Training Weeks in Elite Soccer Players. *International journal of sports physiology and performance*, 11(7), 947–952.

Todd, M. K., Scott D., y Chisnall, P. J. (2002). Fitness characteristics of English female soccer players: an analysis by position and playing standard. En: *Science and Football IV*, Spinks, W. T. Reilly, y A. Murphy (Eds.). Londres, Inglaterra: E & Spon, pp. 374–381.

Twist, C., y Highton, J. (2013). Monitoring fatigue and recovery in rugby league players. *International Journal of sports physiology and performance*, 8(5), 467-474.

- Uusitalo, A. L. (2001). Overtraining: making a difficult diagnosis and implementing targeted treatment. *The Physician and Sportsmedicine*, 29(5), 35–50.
- Vander, A. J., Sherman, J. H., y Luciano, D. S. (1990). *Human physiology: the mechanisms of body function*. New York. EEUU: McGraw-Hill.
- Vesterinen, V. (2016). Predicting and monitoring individual endurance training adaptation and individualizing training prescription: with endurance performance, cardiac autonomic regulation and neuromuscular performance. *Studies in sport, physical education and health* 248 (1), 102.
- Vesterinen, V., Häkkinen, K., Hynynen, E., Mikkola, J., Hokka, L., y Nummela, A. (2013). Heart rate variability in prediction of individual adaptation to endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian journal of medicine y science in sports*, 23(2), 171–180.
- Viru, A. A., y Viru, M. (2001). *Biochemical monitoring of sport training*. Champaign (IL): Human Kinetics. p 37-9.
- Wallace, L. K., Slattery, K. M., y Coutts, A. J. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: relationships between modelled and actual training responses. *European journal of applied physiology*, 114(1), 11–20.

Wang, E., Solli, G. S., Nyberg, S. K., Hoff, J. y Helgerud, J. (2012). Stroke volume does not plateau in female endurance athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 33 (9), 734-739.

Warren, G. L., Ingalls, C. P., Lowe, D. A., y Armstrong, R. B. (2001). Excitation-contraction uncoupling: major role in contraction-induced muscle injury. *Exercise and sport sciences reviews*, 29(2), 82-87.

Warren, G. L., Lowe, D. A., y Armstrong, R. B. (1999). Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports medicine*, 27(1), 43-59.

Wehbe, G. M., Hartwig, T. B., y Duncan, C. S. (2014). Movement analysis of Australian national league soccer players using global positioning system technology. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 28(3), 834-842.

Westerblad, H., Allen, D. G., y Lannergren, J. (2002). Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause?. *News Physiology Science*, 17(1), 17-21.

Willmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, L. (1999). physiology of sport and exercise. Champaign, IL: Human Kinetics.

Winnick, J. J., Davis, J. M., Welsh, R. S., Carmichael, M. D., Murphy, E. A., y Blackmon, J. A. (2005). Carbohydrate feedings during team sport exercise preserve physical and CNS

- function. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 37(2), 306-315.
- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., y Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British journal of sports medicine*, 38(3), 285–288.
- Wrigley, R., Drust, B., Stratton, G., Scott, M., & Gregson, W. (2012). Quantification of the typical weekly in-season training load in elite junior soccer players. *Journal of sports sciences*, 30(15), 1573-1580.
- Yanagisawa, O., Kurihara, T., Okumura, K., y Fukubayashi, T. (2010). Effects of strenuous exercise with eccentric muscle contraction: physiological and functional aspects of human skeletal muscle. *Magnetic Resonance in Medical Sciences*, 9(4), 179–186.
- Yeo, W. K., Carey, A. L., Burke, L., Spriet, L. L. y Hawley, J. A. (2011). Fat adaptation in well-trained athletes: effects on cell metabolism. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 36 (1), 12-22.
- Youngstedt, S. D., Kripke, D. F., y Elliott, J. A. (1999). Is sleep disturbed by vigorous late-night exercise?. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(6), 864-869.

Zhelyazkov, T. (2001). *Bases del entrenamiento deportivo* (Vol. 24).  
Barcelona, España: Paidotribo.

Zurutuza, U., Castellano, J., Echeazarra, I., y Casamichana, D. (2017).  
Absolute and relative training load and its relation to fatigue in  
football. *Frontiers in psychology*, 8(1), 878-886.



## 6. Anexos

### 6.1. Consentimiento informado de la jugadora para la utilización de datos

#### IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Se solicita su autorización para utilizar los datos y de la evolución del tratamiento

.....  
 ..... que se le ha realizado en .....  
 y que se hallan recogidos en su historia clínica, para el trabajo de investigación:.....  
 ....., cuya finalidad es evaluar  
 .....  
 .....  
 .....

#### OBJETIVO

Los resultados de éste proyecto de investigación pueden contribuir a la mejora en el diagnóstico y tratamiento del entrenamiento. Los datos de su historia clínica serán custodiados en los términos previstos en la Ley 14/2007, de 3 de julio, y en el Real Decreto 1716/2011, de 18 de noviembre.

#### BENEFICIOS ESPERADOS

No percibirá ninguna compensación económica o de otro tipo por participar en ésta investigación. Sin embargo, si las investigaciones que se pudieran realizar tuvieran éxito, podrían ayudar en el futuro a la mejora del proceso de entrenamiento. La información no será vendida o distribuida a terceros con fines comerciales.

#### CONSECUENCIAS PREVISIBLES DE SU NO PARTICIPACIÓN Y DERECHO DE REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO

La participación en este proyecto de investigación es voluntaria y puede cancelarse en cualquier momento. Si rechaza participar, no habrá consecuencias negativas para usted. Si se retira del proyecto, puede decidir si los datos utilizados hasta ese

momento, deben borrarse o si se pueden seguir utilizando tras haberlos convertido en anónimos (p. ej., eliminando los datos de la información identificativa, incluido el código, para que resulte imposible volver a identificarlos).

Pueden solicitar a los investigadores que les proporcionen los datos almacenados en el registro y que corrijan los errores en ellos en cualquier momento.

### **PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES Y CONFIDENCIALIDAD**

Sus datos personales y de salud serán incorporados a un Fichero de datos para su tratamiento, de acuerdo con lo estipulado en la Ley Orgánica 15/1999 de Protección de datos de Carácter Personal, de 13 de diciembre (LOPD). El titular de los datos personales podrá ejercitar los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición al tratamiento de datos de carácter personal, y de revocación del consentimiento, en los términos previstos en la normativa aplicable.

### **INFORMACIÓN DE CONTACTO**

Si tienen alguna pregunta sobre este proyecto de investigación, puede consultar en cualquier momento al Investigador:

.....

Si deciden participar en este proyecto, rellenen y firmen el formulario de consentimiento que aparece a continuación.

#### **6.1.1. Ejemplar para la jugadora.**

### **DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO**

D./Dña.....  
 .....de.....años de edad, con domicilio en  
 .....DNI..  
 .....D./Dña.....  
 .....de.....años de  
 edad, con domicilio en.....

.....DNI.....en calidad de representante  
(en caso de minoría legal o incapacidad) de .....  
..... con DNI ..... .....

## DECLARO

- Que he leído la hoja de información que se me ha entregado.
- Que he comprendido las explicaciones que se me han facilitado.
- Que he podido realizar observaciones y me han sido aclaradas las dudas que he planteado.
- Que puedo revocar el consentimiento en cualquier momento sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.
- Que de forma libre y voluntaria cedo los datos que se hallan recogidos en mi historia clínica para el estudio que se me ha propuesto
- Que puedo incluir restricciones sobre el uso de las mismas.

## CONSIENTO

Que se utilicen los datos que se hallan recopilados en mi historia clínica para el mencionado estudio.

Que el investigador pueda acceder a mis datos en la medida en que sea necesario y manteniendo siempre su confidencialidad.

Que el personal del centro me contacte en el futuro en caso de que se estime oportuno añadir nuevos datos a los recogidos y/o tomar nuevas muestras. ☐ Sí ☐ No

☐ Deseo incluir la siguiente restricción al uso de mis datos:

.....  
.....

Fdo.: D./Dña .....

En ..... a..... de ..... de 20.....

Si el sujeto del estudio es un adolescente capaz intelectual y emocionalmente de entre 12 y 16 años debe de ser oída su opinión y

autorizar su participación en el estudio firmando también este consentimiento. Cuando se trate de menores no incapaces ni incapacitados, pero emancipados o con 16 años cumplidos, no cabe prestar el consentimiento por representación y será el propio sujeto del estudio quien firmará el consentimiento (Ley 41/2002).

### **Declaración Investigador:**

He informado debidamente al donante

Fdo.: ..... DNI  
.....

En ..... a ..... de ..... de 20...

### **REVOCACIÓN**

Fdo.: D./Dña .....

Revoco el consentimiento cedido para la utilización de mis datos para el estudio propuesto

En ..... a ..... de ..... de 20.....

### **6.1.2. Ejemplar para el investigador.**

#### **DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO**

D./Dña.....  
.....de.....años de edad, con domicilio en .....  
.....DNI.....  
..... D./Dña.....  
.....de.....años de edad, con  
domicilio en.....  
....., .....DNI.....en calidad de representante (en  
caso de minoría legal o incapacidad) de.....  
..... con DNI... ..

### **DECLARO**

- Que he leído la hoja de información que se me ha entregado.
- Que he comprendido las explicaciones que se me han facilitado.
- Que he podido realizar observaciones y me han sido aclaradas las dudas que he planteado.
- Que puedo revocar el consentimiento en cualquier momento sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.
- Que de forma libre y voluntaria cedo los datos que se hallan recogidos en mi historia clínica para el estudio que se me ha propuesto
- Que puedo incluir restricciones sobre el uso de las mismas.

## CONSENTIMIENTO

Que se utilicen los datos que se hallan recopilados en mi historia clínica para el mencionado estudio.

Que el investigador pueda acceder a mis datos en la medida en que sea necesario y manteniendo siempre su confidencialidad.

Que el personal del centro me contacte en el futuro en caso de que se estime oportuno añadir nuevos datos a los recogidos y/o tomar nuevas muestras. ☐ Sí ☐ No

☐ Deseo incluir la siguiente restricción al uso de mis datos:

.....  
 .....

Fdo.: D./Dña .....

En ..... a..... de ..... de 20.....

Si el sujeto del estudio es un adolescente capaz intelectual y emocionalmente de entre 12 y 16 años debe de ser oída su opinión y autorizar su participación en el estudio firmando también este consentimiento. Cuando se trate de menores no incapaces ni incapacitados, pero emancipados o con 16 años cumplidos, no cabe prestar el consentimiento por representación y será el propio sujeto del estudio quien firmará el consentimiento (Ley 41/2002).

**Declaración del investigador:**

He informado debidamente al donante

Fdo.: ..... DNI

En ..... a ..... de ..... de 20...

**REVOCACIÓN**

Fdo.: D./Dña .....

Revoco el consentimiento cedido para la utilización de mis datos para el estudio propuesto

En ..... a..... de ..... de 20.....

